

**MONITOREO, ADQUISICIÓN Y TRANSMISIÓN DE
DATOS EN TIEMPO REAL, MEDIANTE IOT, DE LAS
VARIABLES MEDIDAS POR UN PROTOTIPO DE
CARACTERIZACIÓN DE PANELES FOTOVOLTAICOS Y
DE MEDICIÓN DE VARIABLES METEOROLÓGICAS**

CRISTIAN LEONARDO ANGULO INFANTE

ERICA LICETH MUÑOZ GALVIS

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA

2019

MONITOREO, ADQUISICIÓN Y TRANSMISIÓN DE
DATOS EN TIEMPO REAL, MEDIANTE IOT, DE LAS
VARIABLES MEDIDAS POR UN PROTOTIPO DE
CARACTERIZACIÓN DE PANELES FOTOVOLTAICOS Y
DE MEDICIÓN DE VARIABLES METEOROLÓGICAS

CRISTIAN LEONARDO ANGULO INFANTE
ERICA LICETH MUÑOZ GALVIS

*Trabajo de grado para optar al título de
Ingeniero Electrónico*

Director
JAIME GUILLERMO BARRERO PÉREZ
Mg. en Potencia Eléctrica

Codirector
MARIA ALEJANDRA MANTILLA VILLALOBOS
PhD en Ingeniería

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA

2019

Dedicado a

A mi padre que con su inagotable esfuerzo siempre nos ha brindado lo necesario en el hogar, para que sus hijos tengan un mejor futuro y se concentren en lo importante, su estudio, que es la mejor herencia que le puede dejar un padre a sus hijos.

A mi madre, por ser el pilar fundamental en nuestro hogar, por motivarme a ser mejor cada día y que con su apoyo y amor incondicional supo cómo hacerme sentir mejor en momentos difíciles en la realización de este proyecto.

A mis hermanos, que son una gran motivación en mi vida ya que mi deseo siempre ha sido darles un buen ejemplo para que también se esfuercen por su educación y por tener un futuro mejor, así como también a mis demás familiares por su constante apoyo y por siempre incentivar me a culminar este proyecto.

A Luisa, por haber sido una pieza importante en toda mi carrera, y en especial en este proceso de realización de la tesis, por sus consejos, por su paciencia y sobre todo por estar siempre dispuesta a escucharme en los momentos que lo necesitaba.

A mis amigos en general, por permitirme compartir tan buenos momentos en esta etapa de mi vida, de los cuales me llevo bastantes anécdotas, en especial Erica, mi compañera de proyecto, con la cual sufrimos cada uno de los diferentes percances en la realización de este, pero con paciencia y dedicación logramos sacarlo adelante.

A los amigos de la escuela, compañeros de estudio y también de momentos de esparcimiento, a mis amigos de la HJN, con los que he podido contar siempre ante cualquier adversidad y a los que puedo llamar hermanos, a mis amigos de cancha de la FLS UIS, con los cuales compartí este amor por el fútbol y por el Bucaramanga.

Cristian Leonardo Angulo Infante

Dedicado a

A mi madre por apoyarme en cada momento, en cada proyecto que inicio; por estar cuando más lo necesité, por ser mi motor en la vida y darme la fuerza para cumplir mis sueños. Por que sin ella nada de esto tendría sentido.

A mi padre por ser quien sin importar las dificultades se esfuerza por darme todo lo que necesito, por que se que cumpliendo mis metas él será feliz y se sentirá orgulloso de la hija que con tanto amor ha formado.

A mi hermana Karen con la cual comparto el amor por la ingeniería electrónica y a mi hermana Camila la "pequeña" de la casa, a ellas por darme la fuerza para seguir luchado por mis sueños; porque quiero ser esa hermana mayor de la cual se sientan orgullosa y vean un ejemplo a seguir.

A mis amigos Camila, Deisy y Daniel; con ellos empecé este viaje y sin importar el tiempo que pasó son los mejores amigos que pude conocer, nunca faltó una palabra de aliento para seguir luchando por nuestros sueños. Y por supuesto a mi compañero de proyecto Cristian con el cual pasé los mejores y peores momentos pero que jamás podré olvidar por que con esto forme una amistad que será por mucho tiempo.

A mis amigos de la escuela y a los que no pertenecen a ella, a cada uno de ellos gracias por estar cuando necesité una palabra de aliento y fuerza. A mis amigos voluntarios de la rama IEEE por aguantarme este último año, molesté mucho, pero fue por una buena causa.

Erica Liceth Muñoz Galvis

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	14
1 RESEÑA BIBLIOGRÁFICA	16
1.1 PANELES FOTOVOLTAICOS	16
1.2 INTERNET DE LAS COSAS	18
2 PROTOTIPO DE CARACTERIZACIÓN DE PANELES FOTOVOLTAICOS	21
2.1 PRIMERA FASE DEL PROTOTIPO	21
2.1.1 Diseño del convertidor DC/DC SEPIC.	21
2.1.2 Driver del convertidor.	21
2.1.3 Fuente de alimentación del prototipo.	22
2.1.4 Sensores de tensión y de corriente.	23
2.1.5 Algoritmo de generación de la señal de conmutación (PWM) y adquisición de datos.	23
2.2 SEGUNDA FASE	23
3 HARDWARE DEL PROTOTIPO Y SUS CONEXIONES	25
3.1 SENSORES DE TENSIÓN Y CORRIENTE	28
3.2 SENSOR DE TEMPERATURA DEL PANEL	29
3.3 SENSOR DE IRRADIANCIA SOLAR	31
3.4 SENSOR DE TEMPERATURA AMBIENTE Y HUMEDAD RELATIVA	33
3.5 PANTALLA NX4827T043 TFT LCD	34
3.6 MICROCONTROLADOR ESP32	35
3.7 FUENTE DE ALIMENTACIÓN	38
4 DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE DEL PROTOTIPO	40
4.1 ALMACENAMIENTO DE DATOS Y VARIABLES	40

4.1.1	Base de datos.	40
4.1.2	Página <i>WEB</i>	41
4.1.3	Aplicación Móvil.	45
4.2	ALGORITMO DE PROGRAMACIÓN DE LA ESP32	47
5	RESULTADOS	50
5.1	CARACTERIZACIÓN DEL ADC DE LA TARJETA ESP32	50
5.2	CARACTERIZADOR DE PANELES FOTOVOLTAICOS Y MEDICIÓN DE VARIABLES METEOROLÓGICAS	53
6	CONCLUSIONES	58
7	RECOMENDACIONES	59
	BIBLIOGRAFÍA	60

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1	Curva característica I-V con irradiancia constante para diferentes valores de temperatura	17
Figura 1.2	Curva característica I-V con temperatura constante para diferentes valores de irradiancia	17
Figura 1.3	Curva característica I-V (línea negra) y P-V (línea roja)	18
Figura 1.4	Clasificación del Hardware en IoT	19
Figura 1.5	Clasificación del software en IoT	20
Figura 2.1	Topología convertidor DC/DC SEPIC para el prototipo.	22
Figura 2.2	Señal PWM.	22
Figura 2.3	Esquema del prototipo de caracterización de paneles fotovoltaicos.	24
Figura 2.4	Prototipo de caracterización de paneles fotovoltaicos de medición de variables meteorológicas.	24
Figura 3.1	Esquema del prototipo de caracterización de paneles fotovoltaicos.	25
Figura 3.2	Esquemático de la PCB diseñada para la adquisición y envío de datos con la ESP32	26
Figura 3.3	Capa de top de la board de la PCB diseñada para la adquisición y envío de datos con la ESP32	27
Figura 3.4	Capa de bottom de la PCB diseñada para la adquisición y envío de datos con la ESP32	27
Figura 3.5	PCB diseñada para la obtención de las variables	28
Figura 3.6	Esquema sensores de tensión y corriente del caracterizador de paneles fotovoltaicos.	29
Figura 3.7	Divisor de tensión para ajuste de señales analógicas.	29
Figura 3.8	Esquema para toma de temperatura del panel.	30
Figura 3.9	Módulo de medición de temperatura del panel	31
Figura 3.10	Esquema sensor de irradiancia solar.	32

Figura 3.11 Grafica obtenida de la prueba experimental realizada al comparar el valor de irradiancia dels sensor Huksefluxse y la tensión del sensor implementado	32
Figura 3.12 Módulo de medición de irradiancia.	33
Figura 3.13 Módulo de medición de temperatura ambiente y humedad . . .	34
Figura 3.14 Pantalla NX4827T043 - 4.3" TFT LCD	35
Figura 3.15 Ventanas del editor de <i>Nextion Editor</i>	36
Figura 3.16 Ventanas diseñadas para la pantalla Nextion	37
Figura 3.17 Diagrama de bloques del funcionamiento de la ESP32	38
Figura 3.18 Esquema para generar alimentación de fuente conmutada	39
Figura 4.1 Tabla en MySQL de base de datos para almacenamiento de variables medidas en la caracterización de paneles fotovoltaicos	42
Figura 4.2 Tabla en MySQL de base de datos para almacenamiento de variables meteorológicas	42
Figura 4.3 Ventana de bienvenida de la página <i>WEB</i>	44
Figura 4.4 Ventana de visualización de datos de sensores.	45
Figura 4.5 Ventana de visualización de las curvas características (I vs. V). .	45
Figura 4.6 Ventana de configuración, con las opciones de administrador. . .	46
Figura 4.7 Pantalla principal del editor <i>online</i> de MIT App inventor	47
Figura 4.8 Ventanas de la aplicación <i>Fotovolta-IoT</i>	48
Figura 4.9 Diagrama de flujo del algoritmo de programación de la ESP32 .	49
Figura 5.1 Gráfica ajuste polinomial de la caracterización del ADC	51
Figura 5.2 Prototipo de caracterización de paneles fotovoltaicos y de medición de variables meteorológicas.	53
Figura 5.3 Datos de tensión y corriente obtenidos en pruebas de caracterización del panel.	54
Figura 5.4 Datos de variables meteorológicas en la pantalla táctil.	55
Figura 5.5 Gráfica de tensión vs potencia y tensión vs corriente en página <i>WEB</i>	56
Figura 5.6 Gráfica de tensión vs corriente y tensión vs potencia en aplicación móvil.	57

LISTA DE TABLAS

Tabla 1	Valores tomados para la caracterización del ADC de la ESP32 . .	51
Tabla 2	Valores con el ajuste realizado al ADC de la ESP32	52

RESUMEN

Título: Monitoreo, adquisición y transmisión de datos en tiempo real, mediante IoT, de las variables medidas por un prototipo de caracterización de paneles fotovoltaicos y de medición de variables meteorológicas¹.

Autores: Cristian Leonardo Angulo Infante², Erica Liceth Muñoz Galvis²

Palabras Clave: Paneles fotovoltaicos, Variables meteorológicas, Irradiancia, Sensores, Temperatura, Humedad, Monitoreo, IoT .

DESCRIPCIÓN:

Conocer las curvas características de un panel fotovoltaico es fundamental para poder determinar su comportamiento, por ejemplo, el punto de mayor eficiencia. En las hojas de datos proporcionadas por los fabricantes de los paneles, las curvas características que se presentan son a temperatura e irradiancia constante. Pero estas varían según las condiciones meteorológicas a las que son expuestos, por ello el comportamiento debe ser monitoreado de las variables meteorológicas a las que se encuentra expuesto para extraer los datos de mayor eficiencia con respecto al entorno donde se encuentra.

Previamente en la Escuela de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones se diseñó un prototipo de caracterización de paneles fotovoltaicos y de medición de variables meteorológicas, con el fin de adquirir y visualizar las variables del proceso de caracterización de paneles fotovoltaicos en tiempo real, por medio de una pantalla LCD; en esta se realizaba la activación y monitoreo de la caracterización de los paneles. En este proyecto se hace una mejora en el prototipo de caracterización de paneles fotovoltaicos y medición de variables meteorológicas, realizando nuevas interfaces de visualización más amigables al usuario y el almacenamiento en la nube de los datos tomados en el proceso de caracterización de paneles fotovoltaicos. Además del cambio de la pantalla LCD y el microprocesador usado en la adquisición de datos.

¹Trabajo de Grado

²Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Director: Jaime Guillermo Barrero Pérez, Mg. en Potencia Eléctrica. Codirector: Maria Alejandra Mantilla Villalobos, PhD en Ingeniería.

ABSTRACT

Title: Real-time data monitoring, acquisition and transmission, through IoT of the measured variables by a characterization prototype of photovoltaic panels and measurement of meteorological variables.¹.

Authors: Cristian Leonardo Angulo Infante², Erica Liceth Muñoz Galvis²

Key Words: Photovoltaic panels, Meteorological variables, Irradiance, Sensors, Meteorological variables, Temperature, Humidity, Monitoring, IoT

DESCRIPTION:

The characteristic curves of a photovoltaic panel are fundamental to determine their behavior. For example, the best efficiency point. In the data sheets provided by the manufacturers of the panels, this graphs are presented at constant temperature and irradiance. But actually these vary according to the weather conditions to which they are exposed. Therefore, the behavior must be monitored to extract the data from the point of greatest efficiency, according to the environment where the panel is located.

Previously in the School of Electrical Engineering, Electronics and Telecommunications, a prototype for the characterization of photovoltaic panels and the measurement of meteorological variables was designed, in order to acquire and visualize the variables of the process of characterization of photovoltaic panels in real time, by means of an LCD screen; in that part the activation and monitoring of the characterization of the panels was carried out. In this project, an improvement is made to the characterization prototype of photovoltaic panels and measurement of meteorological variables, doing new visualization interfaces, which are more user-friendly. Also, the storage in the cloud of the data taken in the process of characterization of photovoltaic panels. In addition to the change of the LCD screen and the microprocessor used in data acquisition.

¹Bachelor Thesis

²Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Advisor: Jaime Guillermo Barrero Pérez, Mg. en Potencia Eléctrica. Co Advisor: Maria Alejandra Mantilla Villalobos, PhD en ingeniería.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el mundo se encuentra en la era donde la comunicación digital por medio de internet está incrementando; por esta razón surge con más fuerza el Internet de las Cosas (*Internet of Things o IoT*), con sus múltiples aplicaciones en ciencia y tecnología [17]. El IoT es un concepto en el cual el mundo real interactúa con la tecnología que cada día se desarrolla para facilitar la vida cotidiana [3]; por esta razón cada vez más personas están conectadas a la *WEB*, lo que causa que el incremento en la conectividad sea necesaria, además del volumen de almacenamiento de los servidores para soportar la capacidad de usuarios ingresando y que no afecte el funcionamiento de las plataformas *online* [14]. Por esto cada vez se desarrollan nuevas tecnologías donde la velocidad de transferencia de datos y la capacidad son primordiales.

Ya que IoT se puede emplear en muchos campos tecnológicos, se plantea que el monitoreo de procesos por medio de esta mejora el control o manejo de los mismos, ya que se puede analizar los datos en tiempo real, y corregir la respuesta ante posibles fallas.

Previamente en la Escuela de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones se diseñó un prototipo de caracterización de paneles fotovoltaicos y de medición de variables meteorológicas [5] [19], con el fin de adquirir y visualizar las diferentes variables obtenidas en el proceso de caracterización en tiempo real, se diseñó una interfaz por medio de una pantalla LCD; en esta se realiza la activación y monitoreo de la caracterización de los paneles. En este proyecto se realiza una mejora al prototipo con el objetivo de optimizar el funcionamiento; con la inclusión de una interfaz con la cual el usuario pueda interactuar de manera sencilla y rápida, debido a que se realiza de forma remota con ayuda de una página *WEB* y una aplicación para dispositivos móviles, con una base de datos en la nube para el almacenamiento de los datos obtenidos.

Este trabajo está dividido en seis capítulos, en los cuales se muestra el desarrollo del proyecto y los diferentes elementos implementados. En el capítulo 2 se muestran las curvas características de los paneles fotovoltaicos, en las que se presenta la variación de la corriente y la tensión en función de la irradiancia y la temperatura. En el capítulo 3 se relacionan los sensores, pantalla táctil y procesador usados en el prototipo, su funcionamiento y conexión; la alimentación de

los sensores y del prototipo en general. El capítulo 4 trata de los elementos de visualización y almacenamiento de los datos obtenidos por el proceso de caracterización; en cada subsección de explica cómo se programó cada elemento y se muestra el resultado final. Por último, en los capítulos 5, 6 Y 7, se presentan los resultados obtenidos al realizar pruebas con un panel fotovoltaico policristalino de 270W, 60 celdas, marca Trina solar de referencia TSM-PD05 en el desarrollo de esta tesis, algunas conclusiones y sugerencias del proyecto.

1. RESEÑA BIBLIOGRÁFICA

1.1. PANELES FOTOVOLTAICOS

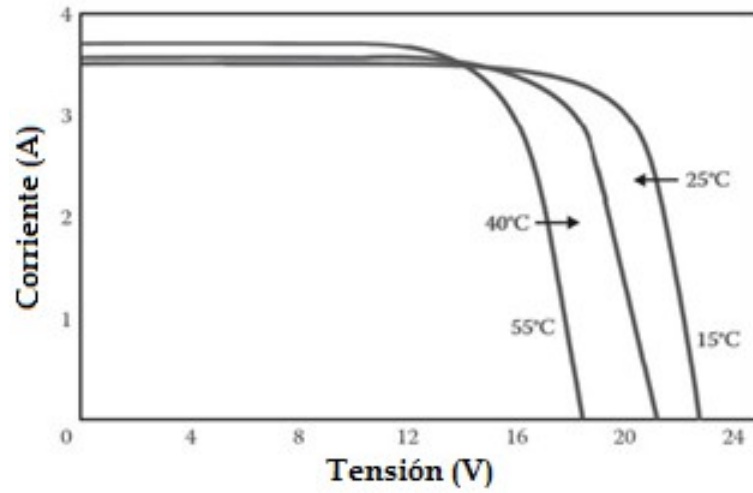
Los paneles fotovoltaicos presentan diferentes características de rendimiento y capacidades eléctricas dependiendo el fabricante y el material con el cual es fabricado y en algunos casos son diseñados para soportar condiciones meteorológicas extremas. Algunas pruebas realizadas a las que se someten los paneles varían en temperatura desde -40°C hasta 90°C varios cientos de veces.

Cuando un módulo sin carga es expuesto al sol, la tensión medida en los terminales se denomina tensión de circuito abierto V_{oc} es decir no hay circulación de corriente. De la misma manera, al realizar una conexión ideal entre sus terminales se puede medir la corriente de corto circuito I_{sc} . Cuando se conecta una carga al panel se establecen los valores de operación de corriente y tensión entre los terminales. Al variar la carga aplicada se obtienen nuevos puntos, con los cuales se genera la curva característica I-V (corriente vs tensión). El análisis de la curva I-V es de fundamental en la caracterización del generador fotovoltaico, pues con estas se obtiene los principales parámetros para determinar la calidad de este y su desempeño [9].

Las curvas características varían según las condiciones meteorológicas a las cuales estén expuesto, la orientación, la inclinación y la ubicación geográfica del panel. Esto se observa en las figuras 1.1 y 1.2 donde se muestra diferentes valores de temperatura e irradiancia uniformes en el panel.

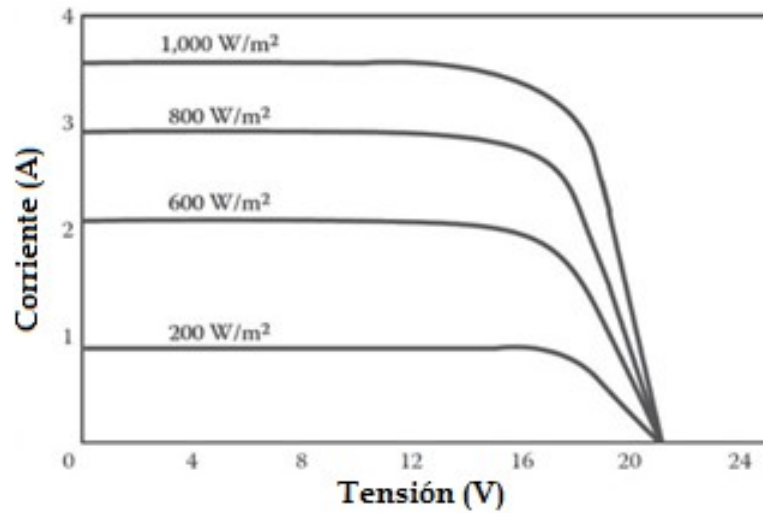
En la figura 1.3 se presenta las curvas características I-V (corriente vs. tensión) y P-V (potencia vs. tensión) para niveles uniformes de irradiancia y temperatura en un panel fotovoltaico. Cada punto de la curva se interpreta como potencia generada para una determinada carga. Existe un solo punto en el cual la potencia máxima (P_m) puede ser extraída a la cual se le llama la zona de la rodilla de la curva. Entonces se tiene que la potencia máxima se da en el punto donde la tensión de potencia es máxima (V_{mp}) y la corriente de potencia es máxima

Figura 1.1: Curva característica I-V con irradiancia constante para diferentes valores de temperatura



Tomada de "Implementación de un prototipo para la caracterización de paneles fotovoltaicos", por CHACHON AVENDAÑO y ORTIZ JURADO, 2016

Figura 1.2: Curva característica I-V con temperatura constante para diferentes valores de irradiancia



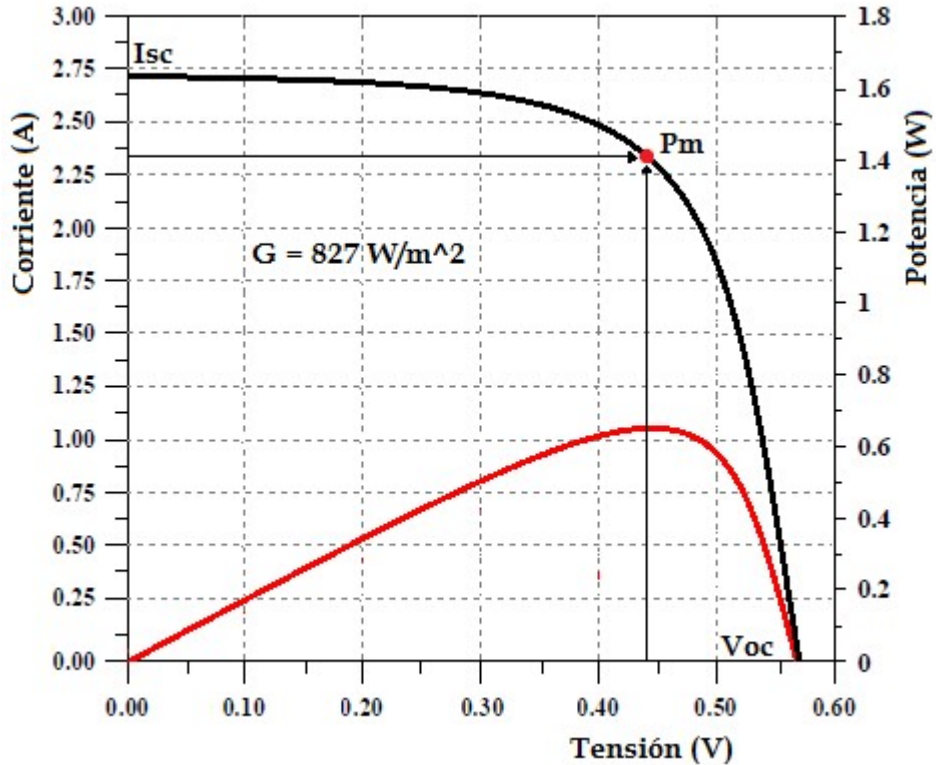
Tomada de "Implementación de un prototipo para la caracterización de paneles fotovoltaicos", por CHACHON AVENDAÑO y ORTIZ JURADO, 2016

(I_{mp}) .

La potencia nominal de los paneles fotovoltaicos está dada por la potencia pico que éste puede generar expresada en la unidad, que se refiere a la potencia máxima generada bajo con-

diciones estándares de operación: temperatura e irradiancia uniformes a 25°C y $1000\text{W}/\text{m}^2$ respectivamente [9].

Figura 1.3: Curva característica I-V (línea negra) y P-V (línea roja)



Tomada de "Implementación de un prototipo para la caracterización de paneles fotovoltaicos", por CHACHON AVENDAÑO y ORTIZ JURADO, 2016

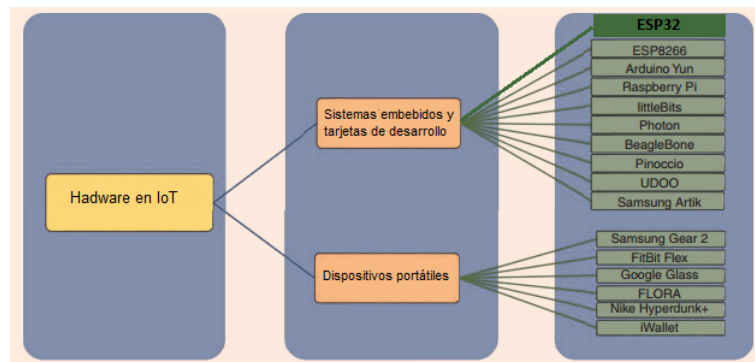
1.2. INTERNET DE LAS COSAS

Cuando se habla de IoT (abreviatura de Internet de las cosas en inglés), piensa en los teléfonos móviles como centro de diferentes operaciones, por ello Paul Jacobs, jefe ejecutivo de Qualcomm, ha dicho: "En el futuro, casi todas las cosas estarán enlazadas en la web, y los teléfonos móviles funcionarán como centros de actividades para IoT. Por lo tanto, IoT es nada más que la conexión a Internet de objetos inteligentes y sistemas embebidos, con teléfonos móviles como centros de acceso (Traducido de [20])". Los objetos inteligentes se pueden describir como cosas u objetos que son responsables de proporcionar información útil sobre sus interacciones en una red. Estos objetos se pueden desplegar en una red vía Bluetooth Baja Energía (IEEE 802.15.4), Wi-Fi (IEEE 802.11), Ethernet (IEEE 802.3) u otro tipo de

protocolo de comunicación.

Las posibilidades de desarrollo que ofrece IoT tanto en hardware como en software son infinitas. El hardware IoT puede clasificarse en dos categorías amplias: dispositivos y aparatos portátiles y sistemas embebidos y tarjetas, como se muestra en la figura 1.4. En la categoría de portátiles, se encuentran muchos aparatos hoy en día, que van desde zapatos inteligentes, gafas y hasta relojes que sirven para recibir llamadas. Por otro lado, tanto los aspectos de hardware como de software están abiertos para los desarrolladores bajo los sistemas embebidos y tarjetas de desarrollo. Los servicios prestados por estos sistemas y tarjetas pueden ser clasificados en tres subcategorías: control de dispositivos, adquisición de datos, y aplicaciones de desarrollo. El control de dispositivos incluye la supervisión de dispositivos, seguridad y actualizaciones de software. La adquisición de datos abarca la gestión y transformación de información en diferentes capas del IoT. Por último, el desarrollo de aplicaciones incluye análisis, lógica impulsada por eventos, visualización y programación de aplicaciones [20].

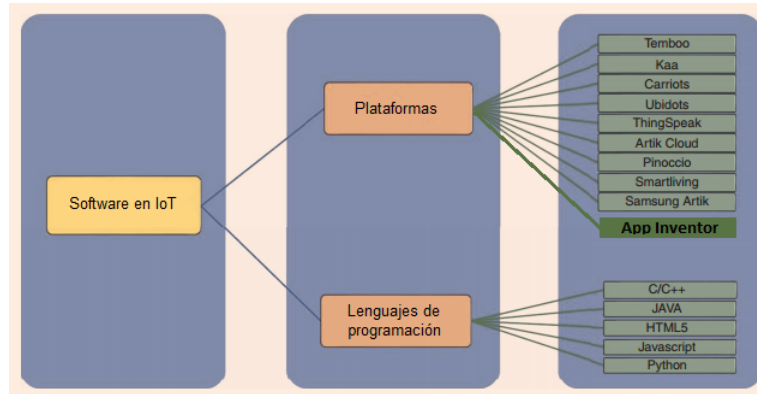
Figura 1.4: Clasificación del Hardware en IoT



Tomada y modificada de “Create Your Own Internet of Things”, por K.J.Singh and D.S.Kapoor, 2017, IEEE Consumer Electronics Magazine , Vol 6 No.2, p. 57-68.

En cuanto al software en IoT, se cuenta con una amplia gama de herramientas, con diferentes tipos de lenguaje, como C, C++, python, entre otros. Existen muchas plataformas de software IoT disponibles en el mercado para simplificar y acelerar el proceso de enviar y/o recibir información, proporcionan marcos de programación máquina a máquina (M2M), gestión de datos y de dispositivos, seguridad, almacenamiento y traducción de protocolos. Muchas de estas herramientas cuentan con diferentes servicios como, por ejemplo, que cuando se produzca un evento específico en el mundo real, se emita una notificación mediante correo electrónico o mensaje de texto.

Figura 1.5: Clasificación del software en IoT



Tomada y modificada de “Create Your Own Internet of Things”, por K.J.Singh and D.S.Kapoor, 2017, IEEE Consumer Electronics Magazine , Vol 6 No.2, p. 57-68.

La selección de una plataforma de software IoT es una parte crítica del desarrollo de estos productos, es esencial saber qué plataforma de software soportará un hardware IoT específico. La elección de la óptima será impulsada por los instrumentos proporcionados, específicamente, el IDE (Entorno de desarrollo integrado) para la programación y la API (Interfaz de programación de aplicaciones) disponible para el acceso de datos y notificaciones. Además, la eficiencia de las herramientas de gestión de datos, tales como aplicaciones de escritorio y móviles, cuadros de mando y similares, también hace que la elección particular sea significativa. Por último, los precios, el apoyo de la comunidad y la documentación disponible también deben tenerse en cuenta al seleccionar una plataforma de software [20].

2. PROTOTIPO DE CARACTERIZACIÓN DE PANELES FOTOVOLTAICOS

El prototipo de caracterización de paneles fotovoltaicos previamente diseñado se realizó en dos fases, en la primera de estas se obtiene un prototipo el cual se encarga de obtener los valores de tensión y corriente para realizar las curvas características. En la segunda fase se incorporan sensores de temperatura ambiente, humedad relativa, irradiancia solar y un sensor para la medición de la temperatura del panel, esto con el fin de monitorear las variables meteorológicas a las que se encuentra expuesto. Además de una pantalla LCD (Liquid Cristal Display) táctil para la visualización de los datos sensados.

2.1. PRIMERA FASE DEL PROTOTIPO

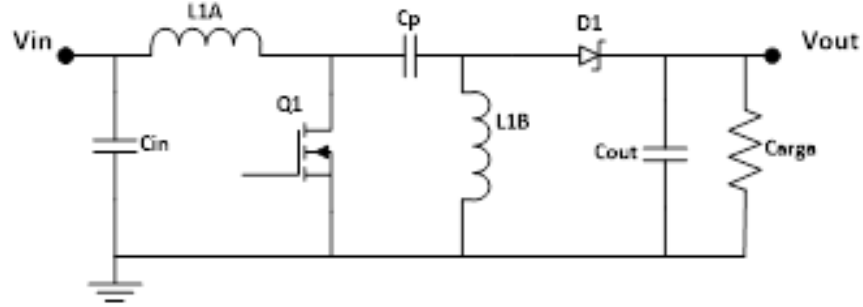
El trabajo realizado en [5] presenta la construcción de un prototipo que permite la caracterización de paneles fotovoltaicos, este se basa en un convertidor DC/DC controlado para emular una resistencia variable a la salida del panel, luego determina los datos correspondientes a la tensión y corriente, los cuales se envían a un computador por comunicación serial, en donde finalmente se almacenan y se visualizan las curvas características.

Este proyecto cuenta con 5 etapas: Un convertidor DC/DC SEPIC, driver del convertidor DC/DC, etapa de alimentación del prototipo, sensado de tensión y de corriente y finalmente la etapa de control y adquisición de datos.

2.1.1 Diseño del convertidor DC/DC SEPIC. Se elige un convertidor DC/DC elevador-reductor SEPIC para la caracterización de los paneles fotovoltaicos. En la Figura 2.1 se muestra la topología del convertidor el cual va a emular una resistencia variable a medida que su ciclo de trabajo varía.

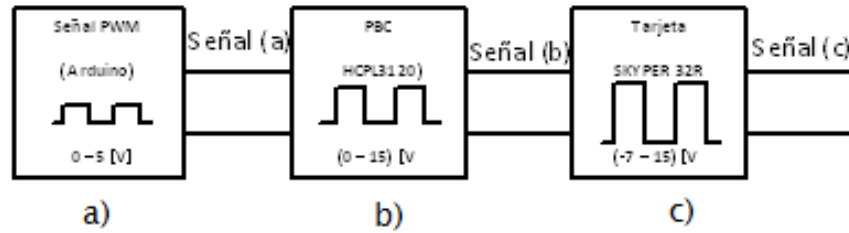
2.1.2 Driver del convertidor. Para adecuar los niveles de tensión y corriente de la señal de conmutación del IGBT y aislar galvánicamente las señales de control y de potencia, se utilizan dos etapas, tal como se observa en la Figura 2.2.

Figura 2.1: Topología convertidor DC/DC SEPIC para el prototipo.



Compuesto por un condensador a la entrada (C_{in}), dos inductores ($L1A$ y $L1B$), un transistor encargado de realizar la conmutación del circuito, un condensador de acople (C_p) seguido de un diodo de potencia ($D1$); a la salida del convertidor se tiene un condensador (C_{out}) y se agrega al circuito típico una carga. Tomada de [5]

Figura 2.2: Señal PWM.



a) Señal PWM (Pulse-Width Modulation) generada por el microcontrolador b) tarjeta de adecuación, diseñada e implementada mediante un optoacoplador HCPL3120 c) “driver” de SEMIKRON, el cual permite adecuar los niveles de tensión de la señal de conmutación entre -7 y 15 [V] Tomada de [5]

La señal PWM de control generada, pasa a través de dos tarjetas que acondicionan la señal que llega a la puerta del IGBT. La primera etapa es una tarjeta de adecuación, diseñada e implementada mediante un optoacoplador HCPL3120. Esta tarjeta permite adecuar la señal de salida de control a niveles entre 0 a 15[V]. La segunda etapa está compuesta por un “driver” de SEMIKRON, el cual permite adecuar los niveles de tensión de la señal de conmutación entre -7 y 15 [V] y además aísla galvánicamente la parte de control y la parte de potencia del circuito.

2.1.3 Fuente de alimentación del prototipo. En el prototipo necesitan una tensión de alimentación de corriente continua. Esta alimentación debe estar aislada de la tensión de la red eléctrica y del circuito de potencia del prototipo. Se requiere alimentar el driver del IGBT (+15[V]) y los sensores de tensión y corriente (-15[V] y +15[V]) encargados de la

medición de las características eléctricas del Panel Fotovoltaico. Por esta razón se implementa una fuente regulada.

2.1.4 Sensores de tensión y de corriente. Para obtener las curvas características de los paneles fotovoltaicos, se toma medidas de las señales de tensión y corriente a la salida del panel fotovoltaico, para cada punto de operación según el barrido realizado.

Para tal propósito, se utilizan dos sensores de tensión y corriente de referencias LV25 [11] y LA25 [10] de LEM, respectivamente. Estos sensores se ajustaron para realizar mediciones de tensión de hasta 60V y de corriente de hasta 13[A]. Las señales de salida de los sensores son adecuadas para que su valor de tensión sea 0 a 5V.

2.1.5 Algoritmo de generación de la señal de conmutación (PWM) y adquisición de datos. Para la generación de la señal PWM y la recolección de los datos de tensión y corriente, se utilizó el Arduino mega 2560. El algoritmo implementado en el Arduino se encarga de generar una señal PWM (señal de conmutación) con un ciclo de trabajo específico. Luego de ser generado la señal de conmutación se adquieren los datos provenientes de los sensores de tensión y corriente para con estos realizar las curvas características del panel.

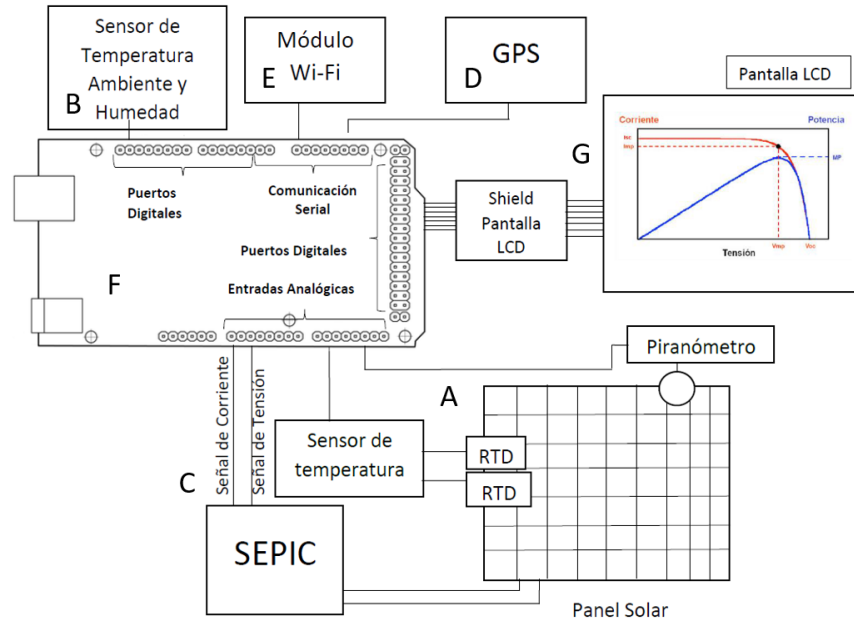
2.2. SEGUNDA FASE

En el proyecto realizado por estudiantes de la escuela ingeniera electrica, electronica y telecomunicaciones [19] mejora el prototipo para la caracterización de paneles fotovoltaicos, el cual realiza la medición de temperatura del panel, temperatura ambiente, humedad relativa, irradiancia, posición geográfica y pantalla LCD (*Liquid Cristal Display*) táctil.

El prototipo está dividido en 7 secciones: Sensor de irradiancia y sensor de temperatura del panel, sensor de temperatura ambiente y humedad, sensado de tensión y corriente mediante el convertidor DC/DC SEPIC, GPS, Wi-Fi, placa arduino MEGA y finalmente pantalla tactil ITDB02-5.0 como se muestra en la figura 2.3

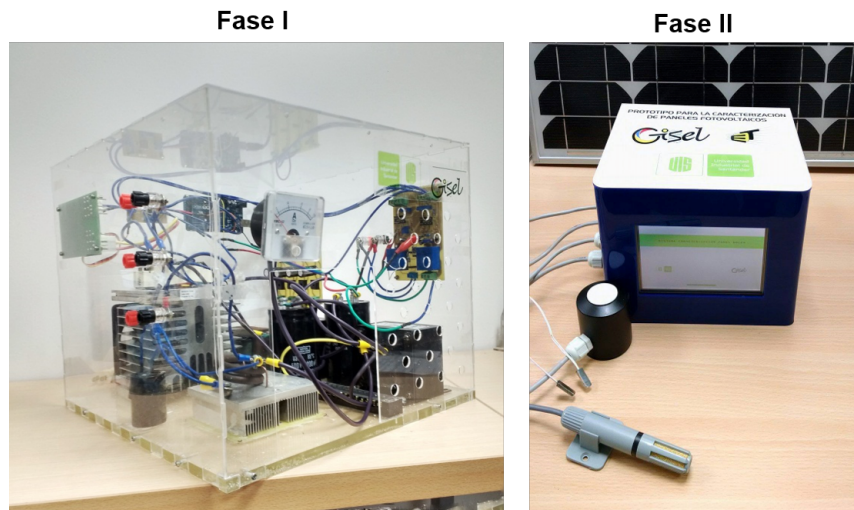
Como resultado de estas dos fases se obtiene el prototipo de caracterizacion de paneles fotovoltaicos y de medición de variables meteorológicas mostrado en la figura 2.4

Figura 2.3: Esquema del prototipo de caracterización de paneles fotovoltaicos.



A) Sensores de irradiancia y temperatura del panel B) sensor de temperatura ambiente y humedad relativa C) sensores de tensión y corriente para adquisición de curvas características D) GPS Global Position System E) Módulo Wi-Fi para envío de datos F) Placa arduino Mega G) Pantalla táctil. Tomada y modificada de [5]

Figura 2.4: Prototipo de caracterización de paneles fotovoltaicos de medición de variables meteorológicas.

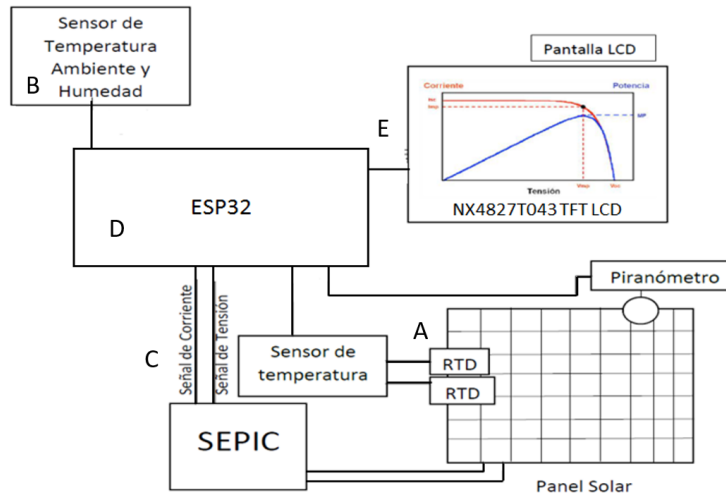


En la figura se muestra el prototipo para la caracterización de paneles fotovoltaicos, el cual permite el sensado de las variables meteorológicas que afectan las características eléctricas de los paneles y la visualización de los datos en tiempo real. Tomada y modificada de [19]

3. HARDWARE DEL PROTOTIPO Y SUS CONEXIONES

Con anterioridad se había elaborado un caracterizador de paneles fotovoltaicos y medición de variables meteorológicas el cual se respresenta en la figura 3.2, el cual tenía una placa Arduino MEGA, la cual se realizaba la toma de datos de los sensores, además de un módulo WiFi ESP8266, para el envío de los datos. Con el fin de optimizar el prototipo se rempazan estos dos elementos por el microcontrolador ESP32. Además, se reutilizan los circuitos adecuación de señal de los sensores de temperatura del panel, irradiancia, tensión y corriente, con sus respectivos esquemas. De igual forma el esquema para generar el PWM (*Pulse-Width Modulation*) para la activación de los sensores de tension y corriente. Se hace el cambio de la pantalla táctil ya existente en el prototipo LCD ITDB02-5.0 [5] por NX4827T043 - 4.3" TFT LCD con mejores especificaciones para los requerimientos de este proyecto. Con que se obtiene como resultado el esquema de la figura 3.1 mostrado en la siguiente página.

Figura 3.1: Esquema del prototipo de caracterización de paneles fotovoltaicos.



A) Sensores de irradiancia y temperatura del panel B) sensor de temperatura ambiente y humedad relativa C) sensores de tensión y corriente D) Microcontrolador ESP32 E) Pantalla táctil. Tomada y modificado de [19]

Para adecuar tanto los diferentes sensores, como el microcontrolador, se diseña una nueva placa que conecta todos los elementos, la cual fue realizada con el programa *Eagle PCB Desing Software* y se muestra a continuación. En la figura 3.2 se muestra el esquemático ,en las figuras 3.3 y 3.4 se observan las capas Top y Bottom de la PCB diseñada y en la figura 3.5 se muestra el resultado final.

Figura 3.2: Esquemático de la PCB diseñada para la adquisición y envío de datos con la ESP32

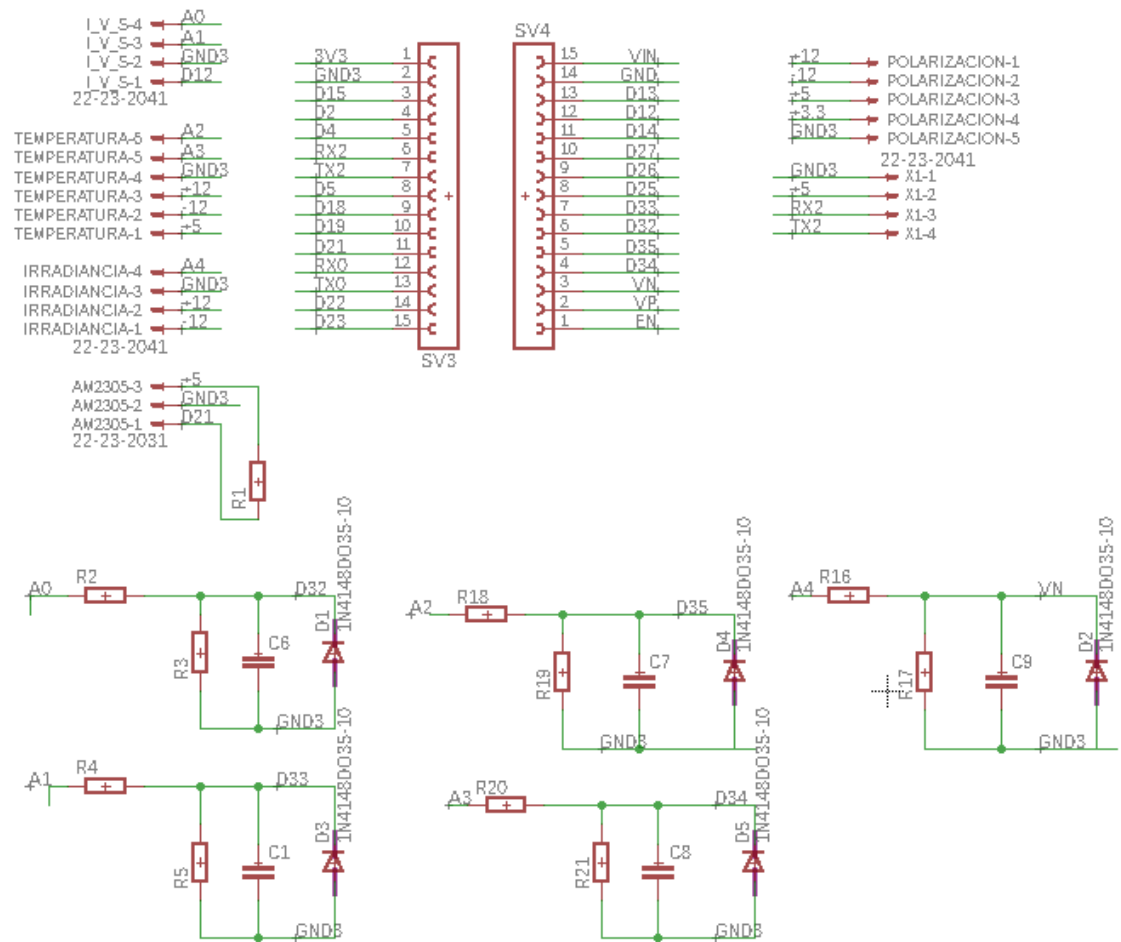


Figura 3.3: Capa de top de la board de la PCB diseñada para la adquisición y envío de datos con la ESP32

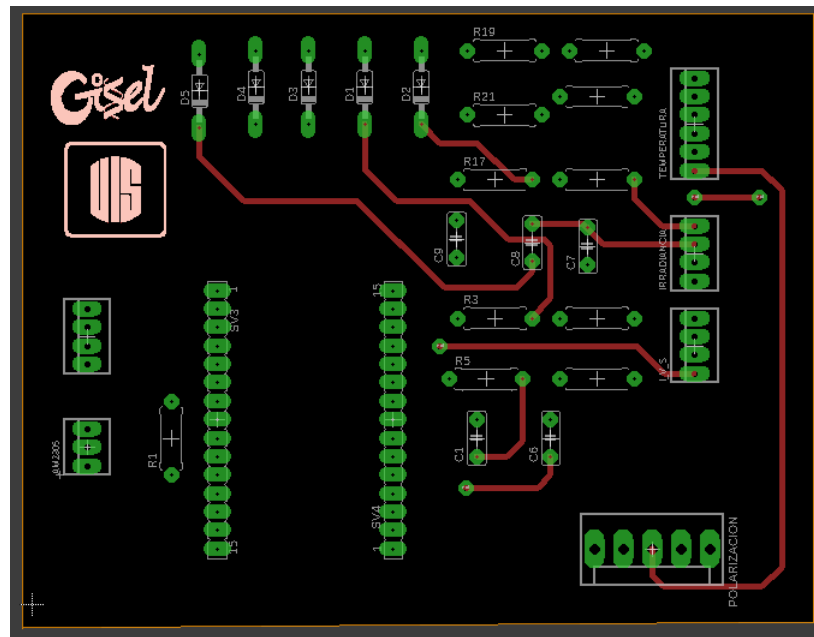


Figura 3.4: Capa de bottom de la PCB diseñada para la adquisición y envío de datos con la ESP32

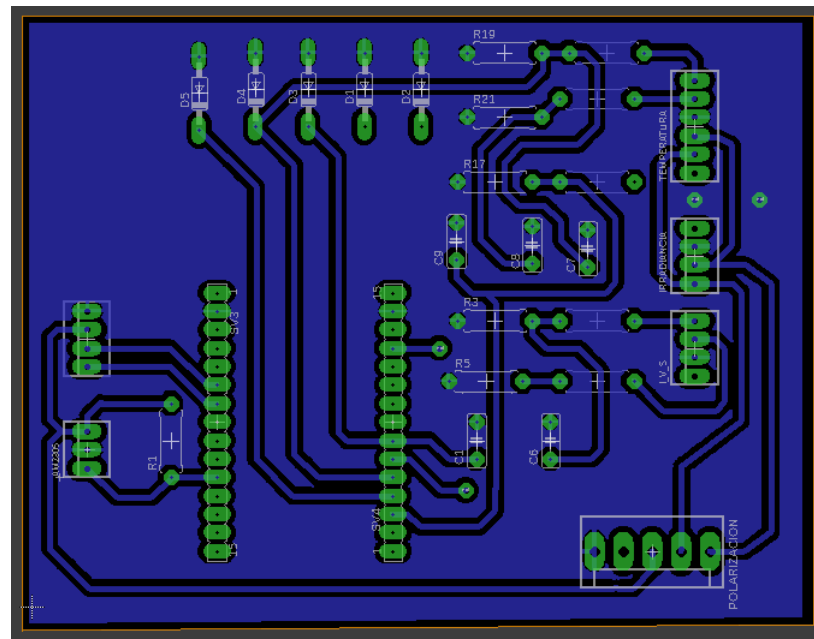
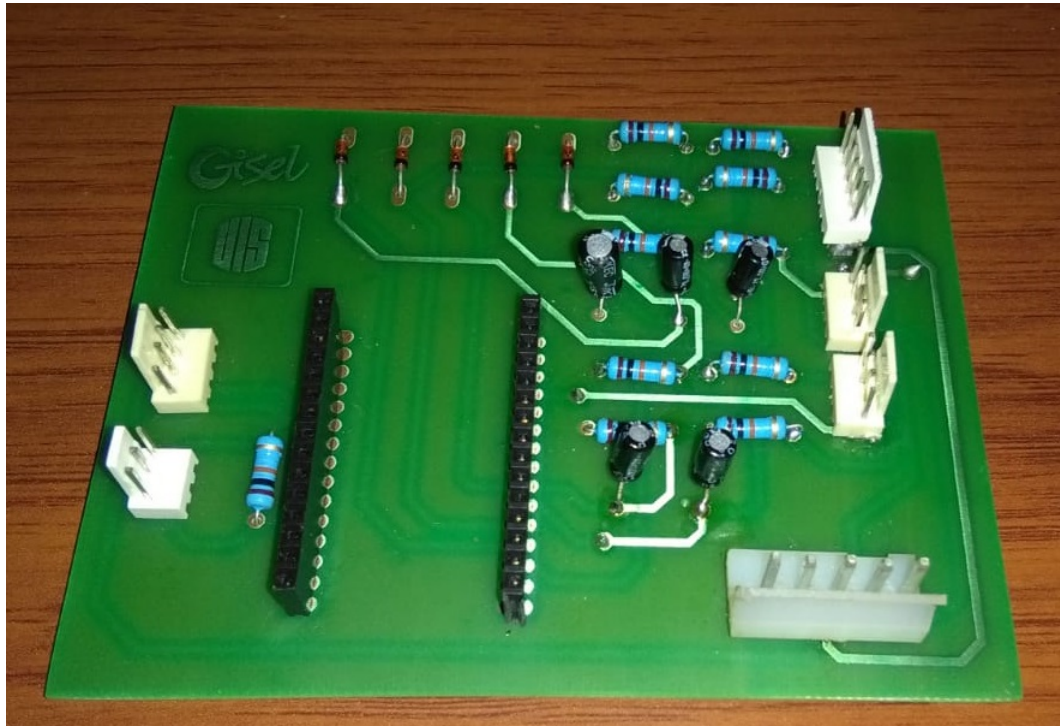


Figura 3.5: PCB diseñada para la obtención de las variables

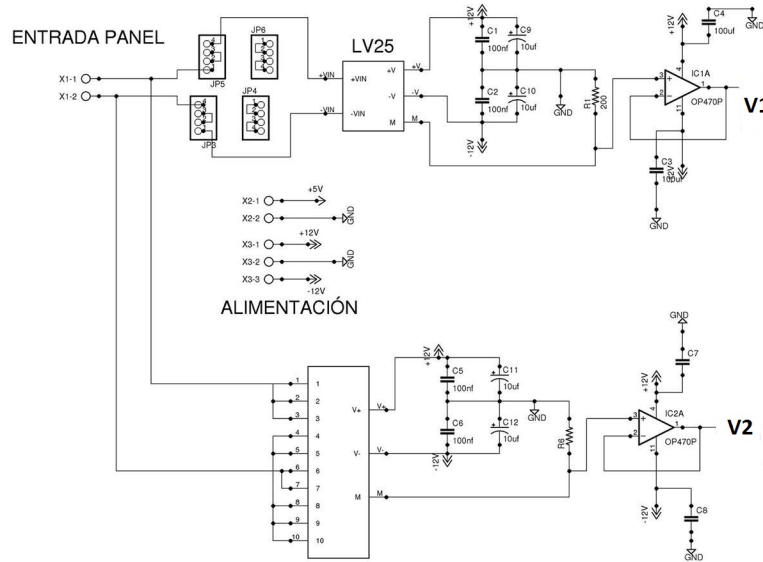


3.1. SENSORES DE TENSIÓN Y CORRIENTE

En la medición de los datos de tensión y corriente se utilizan dos sensores de referencias LV25 [11] y LA25 [10] de LEM, respectivamente, el esquema de estos sensores se muestra en la figura 3.6. Estos sensores se ajustaron para realizar mediciones de tensión de hasta 60V y de corriente de hasta 13[A]. Las señales de salida de los sensores tienen un rango de tensión entre 0V y 5V, pero se realiza un ajuste disminuyendo el valor de tensión de 0V a 2.5V para realizar la medida por el puerto analógico del microcontrolador ESP32, esto se hace por medio de un divisor de tensión, mostrado en la figura 3.7.

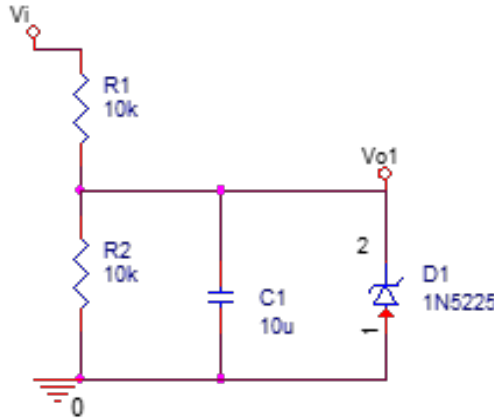
En la figura 3.6 la salida del seguidor de tensión V1 y V2 ingresan a un divisor de tensión, cuya salida es conectada al pin 32 y pin 33 del microcontrolador ESP32 respectivamente. En el esquema de la figura 3.7 se muestra el divisor de tensión usado para la reducción de la salida de los sensores de 0-5[V] a 0-2.5[V]. El divisor de tensión posee un filtrado analógico con el fin de discriminar señales no deseadas que afectan el valor sentido. Además de un diodo zener que hace de protección del microcontrolador ESP32, con el cual las tensiones superiores a 3.5V a la entrada de pin de lectura son limitadas.

Figura 3.6: Esquema sensores de tensión y corriente del caracterizador de paneles fotovoltaicos.



Los datos de tensión y corriente se hacen por medio de los sensores LV25 y LA25, en el esquema se muestra la configuración implementada para esto, a la salida del sensor se adiciona un seguidor de tensión para garantizar un valor de tensión estable. Las salidas V1 y V2 son conectadas a un divisor de tensión. Tomada y modificada de [5]

Figura 3.7: Divisor de tensión para ajuste de señales analógicas.



En el esquema de la figura 3.7 se muestra un capacitor de 10[uF], este actúa como filtro pasa bajas con frecuencia de corte f_c de 3.18 Hz con el fin de eliminar las perturbaciones de alta frecuencia y ruido.

3.2. SENSOR DE TEMPERATURA DEL PANEL

El monitoreo de la temperatura del panel es importante en el proceso de caracterización de paneles fotovoltaicos debido a que esta altera el comportamiento de los parámetros de las

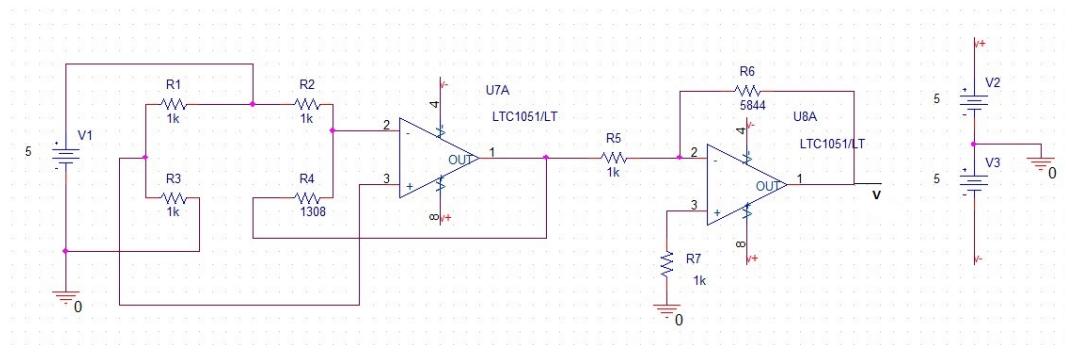
celdas durante la generación de energía eléctrica, por lo cual su medición se hace fundamental. Las variables principalmente afectadas con este aspecto son la tensión de circuito abierto (V_{oc}) y la tensión en el punto de máxima potencia.

Se establece que para la toma de la temperatura en el panel fotovoltaico se use un sensor con el cual se pueda hacer tomas a largas distancias y la medida de temperatura no se vea afectada, puesto que el sensor será acoplado a un cable de baja resistencia de 5 metros de largo con el fin de poder realizar medidas en paneles ubicados a esa distancia de la tarjeta de adquisición del prototipo. Por esta razón se decide elaborar el sensor de temperatura para el panel con RTD (*Resistance Temperature Detector*) tipo PT1000, ya que este tipo de sensores son ideales para llevar acabo esta clase de medidas.

El dispositivo utilizado para el sensado de la temperatura es diseñado considerando 2 RTD (Resistance Temperature Detector) tipo PT1000 y un circuito para el acondicionamiento de la señal ya existente en el prototipo de caracterización de paneles fotovoltaicos [19]. La salida que se obtiene del dispositivo de sensado es muestreada por medio de una entrada del ADC del microcontrolador, el cual cuenta con una resolución de 12 bits y una tensión de referencia de 3.3V. Una resistencia a la salida de la RTD de 1000Ω se obtiene para una temperatura de 0°C y un valor de 1308Ω para 80°C , con un error absoluto de 0.49 %. El valor de la resistencia de la RTD se realiza con el multímetro FLUKE 179 True RMS Digital Multimeter de resolución de 0.1Ω .

Se hace el ajuste a la salida del instrumento de sensado adicionando un divisor de tensión, el cual reduce la tensión a un rango de salida de 0 a 2.5V mostrado en la figura 3.7.

Figura 3.8: Esquema para toma de temperatura del panel.

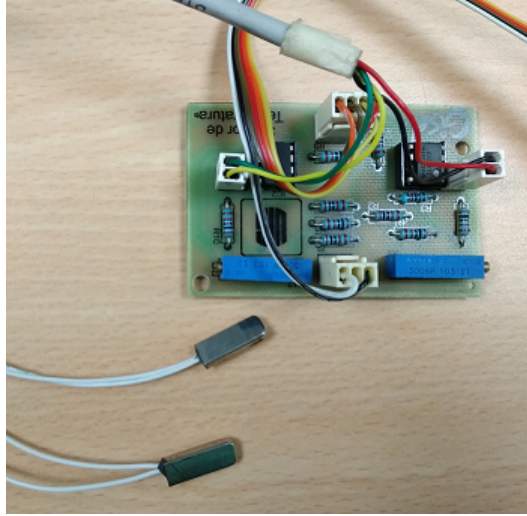


En la figura se muestra un puente de Wheatstone activo y un amplificador inversor. El puente de Wheatstone activo mejora la linealidad y la sensibilidad de sensor de temperatura implementado. *Tomada de [19]*

El esquema del circuito de adecuación de señal elaborada en [19] se muestra en la figura

3.8. Este es un puente de Wheatstone activo. Cada RTD posee su circuito de adecuación de señal representadas por resistencia R4 de la figura. La salida del LTC-1051 V en la figura 3.8, para cada circuito es conectada a un divisor de tensión, y la salida de estos a los pines 34 y 35 del microcontrolador ESP32.

Figura 3.9: Módulo de medición de temperatura del panel



El módulo final con el cual se realiza la medición de temperatura del panel se muestra a en la figura 3.9.

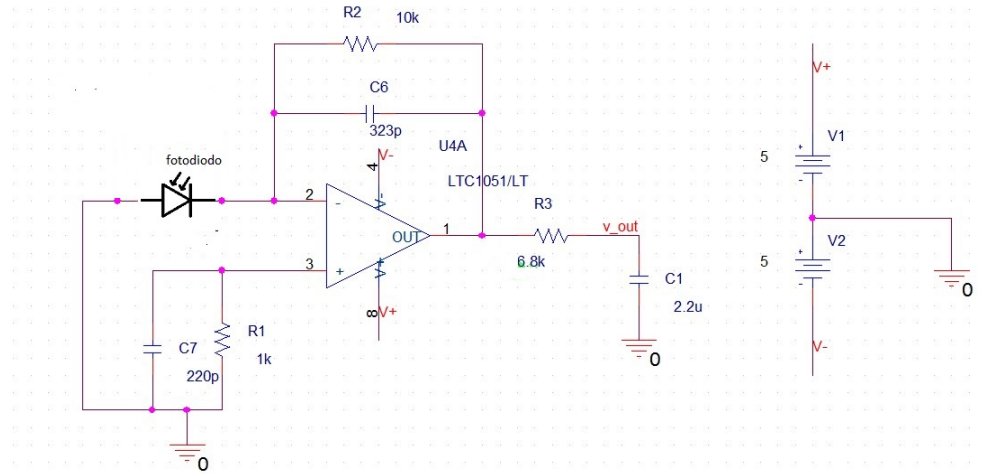
3.3. SENSOR DE IRRADIANCIA SOLAR

El piranómetro es utilizado para la medición de la irradianza solar que incide sobre el panel fotovoltaico; su diseño es realizado con un fotodiodo de referencia PIN OP913WSL de silicio, que cubre las longitudes de onda de 400 nm a 1200 nm [19] y la salida varía entre 0 y 3.3V para unos niveles de irradianza de 0 y 1600 W/m², respectivamente. De esta manera, se obtiene una resolución de 2.61W/m², con una resolución de 2.61 W/m². Se hace la adición de un divisor de tensión 3.7 para reducir la tensión de salida del dispositivo.

El esquema del piranómetro elaborado para la toma de la irradianza solar se muestra en la figura 3.10. La salida Vout se conecta al divisor de tension y la salida de este al pin VN del microprocesador ESP32.

El análisis experimental realizado en [19], en el cual se toman datos de la tensión obtenida

Figura 3.10: Esquema sensor de irradiancia solar.

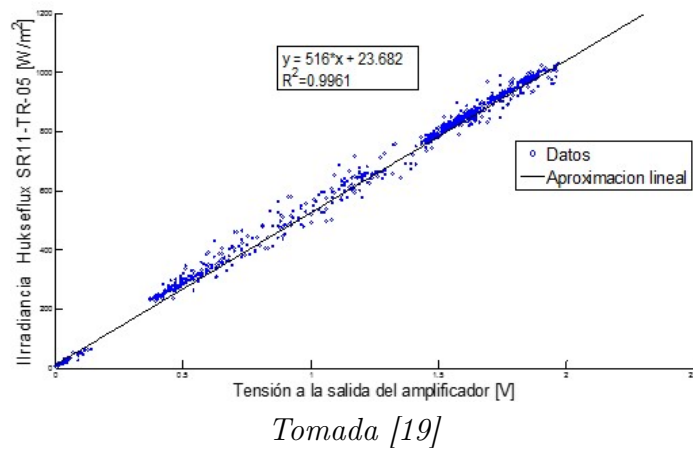


El amplificador de transimpedancia mostrado en la figura, convierte una señal de corriente entregada por el fotodiodo en una de tensión. Este amplificador presenta una baja impedancia al fotodiodo y lo aísla de la tensión de salida del amplificador operacional de referencia LTC-1051. *Tomada y modificada de [19]*

con el sensor de irradiancia implementado y los datos correspondientes de irradiancia utilizando el piranómetro de Hukseflux se obtiene la siguiente ecuación y en la grafica 3.11 se muestra los resultados obtenidos en esta toma de datos.

$$Irr = 516V_{out} + 23,682W/m^2$$

Figura 3.11: Grafica obtenida de la prueba experimental realizada al comparar el valor de irradiancia dels sensor Hukseflux y la tensión del sensor implementado



La toma de los datos de tensión se hace con la ayuda del multímetro FLUKE 179 True

RMS Digital Multimeter, con resolución de 0.001V y una precisión de 0.1 %.

Como resultado final, el módulo para la medición de la irradiancia se observa en la figura 3.12

Figura 3.12: Módulo de medición de irradiancia.



Este piranómetro tiene un circuito interno que convierte la señal de corriente producida por el fotodiodo en una señal de tensión la cual es leída por el ADC del microprocesador ESP32.

3.4. SENSOR DE TEMPERATURA AMBIENTE Y HUMEDAD RELATIVA

El módulo de temperatura ambiente y humedad relativa digital capacitiva AM2305 es un sensor con una salida de señal digital autocalibrada de protocolo de comunicación SDA; está diseñado para su uso con la tecnología de adquisición de módulos digitales y la tecnología de detección de temperatura y humedad para garantizar que los productos tengan una alta confiabilidad y una excelente estabilidad a largo plazo [1]. El módulo posee rango de temperatura ambiente es de -40°C a 80°C con precisión de $\pm 0.3^{\circ}$ y resolución 0.1°C . Y un rango de humedad relativa de 0 a 99.9 % con precisión de $\pm 2\%$ y resolución de 0.1 %. Posee un voltaje de alimentación 3.3 a 5V DC. El sensor posee alta estabilidad y un tamaño ultra pequeño, bajo consumo de energía y distancia de transmisión de señal hasta 20 metros [2].

Este módulo se emplea con el fin de medir la temperatura ambiente y humedad donde se

encuentra instalado el panel fotovoltaico para ayudar con el monitoreo de las variables a la hora de obtener la caracterización del panel fotovoltaico.

El módulo utilizado para esta medición se muestra en la figura 3.13. La señal de salida serial del sensor en protocolo SDA se conecta en el pin 21 del microcontrolador ESP32.

Figura 3.13: Módulo de medición de temperatura ambiente y humedad



Tomado de "AOSONG,<http://www.aosong.com/en/products-29.html> .[Último acceso: 2019].

3.5. PANTALLA NX4827T043 TFT LCD

En el anterior proyecto "Prototipo de caracterización de paneles fotovoltaicos y de medición de variables meteorológicas [19]" fue utilizada una pantalla táctil LCD ITDB02-5.0 que era controlada mediante un Arduino Mega 2560, al adecuar este proyecto a la tarjeta ESP32, no era recomendable usar la misma pantalla debido a la cantidad de pines necesarios para su control. En su lugar, fue usada la pantalla TFT LCD del fabricante *ITEAD Intelligent systems*, de referencia NX4827T043 de 4.3", la cual posee una resolución de 480x272, memoria flash de 16 MB y más de 65000 colores. Esta pantalla tiene 4 pines, Rx, Tx, +5V y GND; esto facilita su control desde la tarjeta ESP32, esta se muestra en la figura 3.14. Los pines Rx y Tx se conectan a los pines Tx0 y Rx0 del microcontrolador ESP32, respectivamente.

Figura 3.14: Pantalla NX4827T043 - 4.3" TFT LCD



Tomado de "NEXTION NX4827T043 - 4.3" TFT LCD INTELLIGENT TOUCH DISPLAY". Disponible en: <https://www.itead.cc/nextion-nx4827t043.html> [Último acceso: 2018].

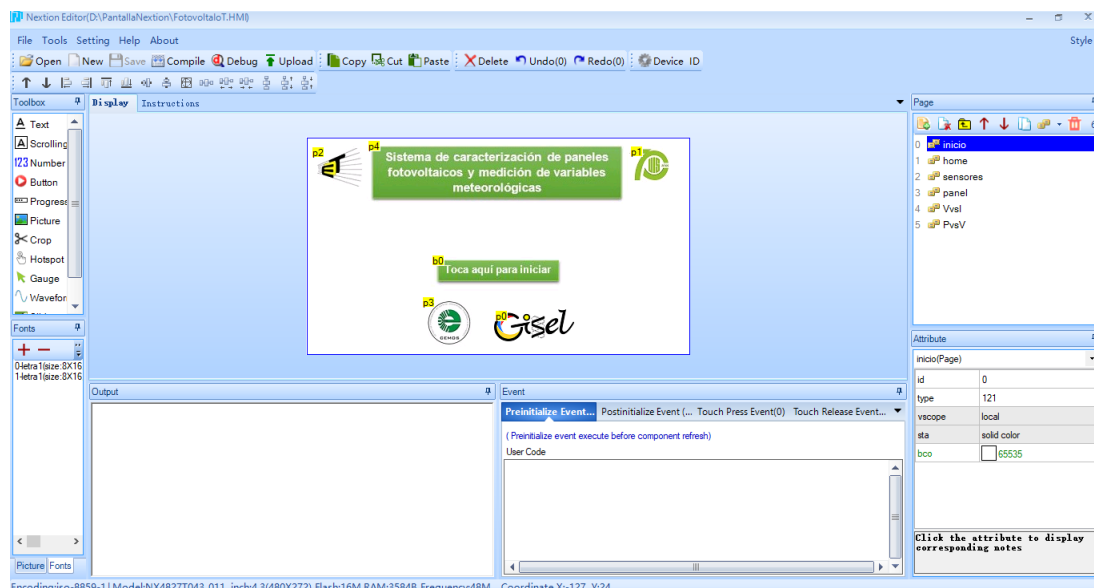
El fabricante brinda una herramienta para la edición de la interfaz gráfica que se desea visualizar en la pantalla, dicho software se llama *Nextion Editor* y es de uso gratuito figura 3.15. Mediante este programa se agregan elementos tales como imágenes, botones, cuadros de texto, entre otros, y programar las funciones que deben cumplir los mismos. Mediante *Nextion Editor* también se puede usar una función de simulación, en la cual se puede comprobar el correcto funcionamiento de todos los elementos de la interfaz gráfica, todo esto para obtener de una forma más práctica el archivo final que será cargado a la pantalla mediante una memoria micro SD. Luego de cargar dicho archivo, se tiene la pantalla lista para ser usada, interactuando mediante puerto serial con la ESP32.

Para este proyecto se diseñó una interfaz de 6 ventanas, entre las cuales se encuentra una de bienvenida la cual se puede observar en el centro de la figura 3.15, también se encuentra el menú principal, que consta de dos botones, con los cuales se selecciona entre otras dos ventanas, la de sensores, que permite la visualización de las variables meteorológicas en tiempo real, o la opción paneles, que mostrará las curvas características tanto de corriente vs. tensión como potencia eléctrica vs tensión, adicionalmente, un botón en cada una que permite volver al menú principal. Estas ventanas se muestran en la figura 3.16.

3.6. MICROCONTROLADOR ESP32

En el trabajo realizado con anterioridad, se contaba con una placa de Arduino Mega y un módulo WIFI aparte, por lo que se buscaba un microcontrolador que contara con dicho

Figura 3.15: Ventanas del editor de *Nextion Editor*



módulo para la optimización de recursos, además de necesitar conversores analógicos digitales para la lectura de los sensores que en su mayoría son analógicos, y en cuanto a su velocidad de procesamiento, se requería tomar y enviar datos, aproximadamente cada 2 minutos. Con estos requerimientos, se buscaron diferentes opciones en el mercado y se llegó a la conclusión de elegir el procesador ESP32.

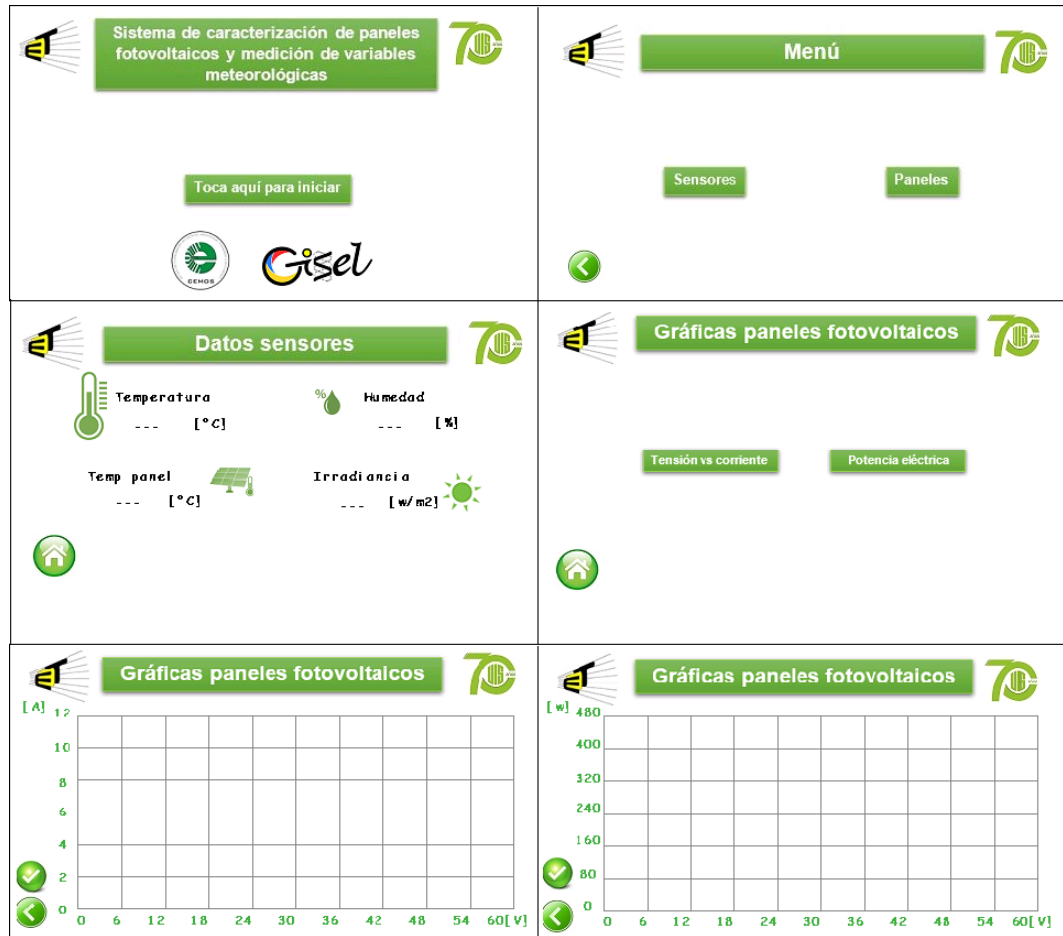
El microcontrolador ESP32 es un SoC (*System on Chip*) diseñado por la compañía china Espressif y fabricado por TSMC. Integra en un único chip un procesador Tensilica Xtensa de doble núcleo de 32bits a 160Mhz (con posibilidad de hasta 240Mhz), conectividad WiFi y Bluetooth [21]. En la figura 3.17 se muestra el diagrama de bloques del funcionamiento de este microcontrolador.

Existen diferentes lenguajes de programación como lo son el IDE de Arduino, MicroPython, RTOS, Mongoose OS, Espruino. Para realizar la programación de la adquisición de los datos y generar señales de control se usó el IDE de Arduino.

Las características técnicas de este microprocesador son:

- ❖ Procesador Xtensa LX6 de 32 bits de doble núcleo, velocidad de 160Mhz (máximo 240 Mhz) y co-procesador de ultra baja energía.
- ❖ Memoria 520 KB SRAM - Memoria flash externa hasta 16MB.

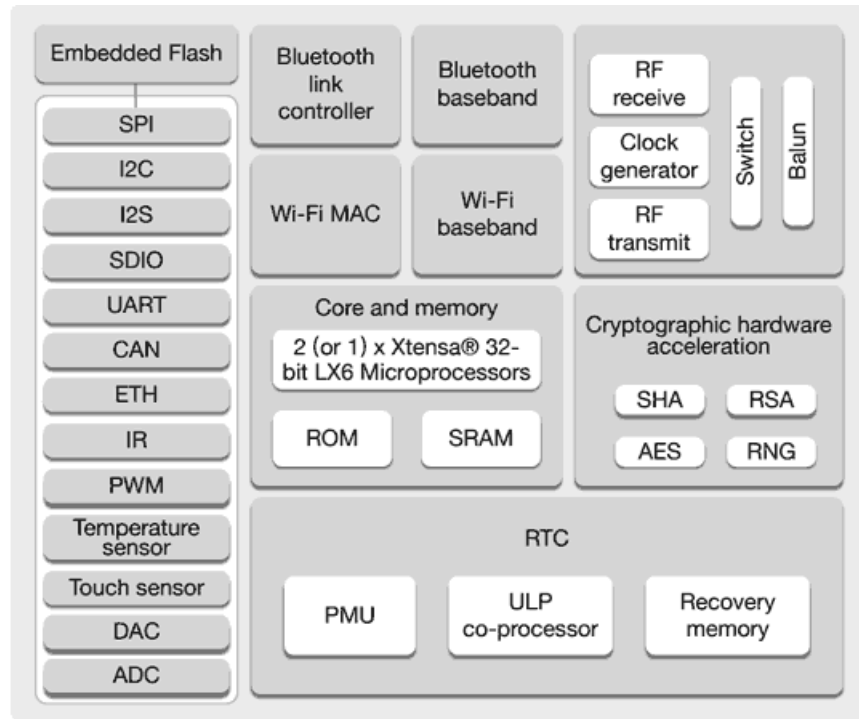
Figura 3.16: Ventanas diseñadas para la pantalla Nextion



- ❖ Wifi 802.11 b/g/n 2.4GHz (soporta WPA/WPA2/WAPI) y Bluetooth v4.2 BR/EDR y BLE.
- ❖ 32 pines GPIO.
- ❖ Conversor analógico digital (ADC) de 12 bits con 18 canales y 2 conversores digitales analógicos (DAC) de 8 bits.
- ❖ 16 salidas PWM (LED PWM) y 1 salida PWM para motores.
- ❖ Sensor de temperatura, sensor de efecto Hall.

Este microprocesador está diseñado para dispositivos móviles, dispositivos electrónicos portátiles y aplicaciones de IoT, ESP32 logra un consumo de energía ultra bajo en modo sueño profundo.

Figura 3.17: Diagrama de bloques del funcionamiento de la ESP32



Tomado de “ESP32 Series. Disponible en: <https://co.mouser.com/datasheet/2/891/esp32-datasheet-en-1223853.pdf>". [Último acceso: 2019].

Por esta razón se emplea la tarjeta DOIT ESP32DevKit v1 para realizar la adquisición de los datos sensados por cada uno de los elementos de sensado; además de tener un bajo costo en el mercado, bajo consumo de energía, menor tamaño comparado con el procesador usado anteriormente en [19](Arduino Mega) y posee el módulo WiFi ya incorporado. Para programar se utiliza el IDE de Arduino, para ello se debe realizar una modificación en la estructura de este programa, con el fin de que al conectar la placa al ordenador el IDE de Arduino la reconozca como un microprocesador compatible.

3.7. FUENTE DE ALIMENTACIÓN

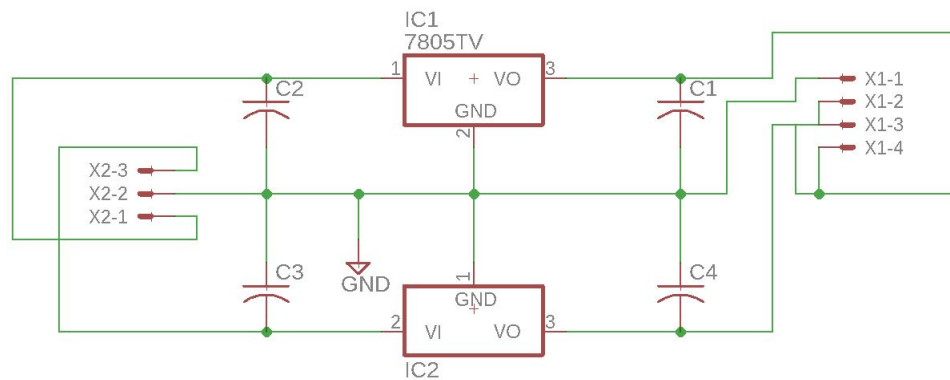
Diversos dispositivos electrónicos del prototipo necesitan una tensión de alimentación de corriente continua. Esta alimentación debe estar aislada de la tensión de la red eléctrica y del circuito de potencia del prototipo. Para obtener la alimentación deseada es necesario implementar una fuente regulada, es decir un dispositivo que toma energía de la red eléctrica y la suministra a una carga en forma estabilizada frente a diversas variaciones, se hace uso

de reguladores de tensión (LM7805, LM7905), con capacitores a la entrada y la salida, para reducir el ruido que pueda estar presente en el circuito.

Se emplea la fuente diseñada en [19], con el fin de evitar las variaciones de tensión de +5V y -5V. El esquema de la figura 3.18, consta de dos reguladores de tensión, el primero es el LM7805 que proporciona +5V a la salida, el otro es el LM7905 con una salida de -5V, adicional a esto, se conectan condensadores a la entrada y a la salida para el correcto funcionamiento de los reguladores.

Este montaje se usa para la alimentación de los circuitos de los sensores de temperatura del panel, irradiancia de +5V y -5V; temperatura ambiente y humedad de +5V; en este también se genera la alimentación del microprocesador de 5V y la pantalla táctil de 5V.

Figura 3.18: Esquema para generar alimentación de fuente conmutada



Tomado de "Prototipo de caracterización de paneles fotovoltaicos incorporando funciones de visualización de datos y sensado de variables meteorológicas", por SANDOVAL HERNÁNDEZ y ANGARITA ARENAS, 2017.

4. DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE DEL PROTOTIPO

Para realizar la visualización y el almacenamiento de los datos sensados por el prototipo de caracterización de paneles fotovoltaicos y medición de variables meteorológicas, se utilizan una página *WEB*, un aplicativo móvil y una pantalla táctil; en este capítulo se explica el funcionamiento de la base de datos utilizada, la página *WEB* y la aplicación móvil; además del algoritmo de programación de la tarjeta ESP32.

4.1. ALMACENAMIENTO DE DATOS Y VARIABLES

4.1.1 Base de datos. Para el almacenamiento de los datos tomados por los sensores y el caracterizador de paneles se usa una base de datos. Para usar una base de datos en una red local existen en el mercado diferentes programas y herramientas, una de ellas es un paquete de software llamado XAMPP, el cual incluye servidores de bases de datos como MySQL y SQLite con sus respectivos gestores phpMyAdmin y phpSQLiteAdmin. Además, incorpora también el intérprete de PHP, el intérprete de Perl, servidores de FTP como ProFTPD ó FileZilla FTP Serve, entre muchas cosas más [8]. XAMPP es usado para crear el sitio web propio y una distribución fácil, la cual hace sencillo desarrollar un entorno web [16].

XAMPP es un servidor independiente de plataforma de código libre, que permite instalar de forma sencilla Apache en el propio ordenador, sin importar el sistema operativo (Linux, Windows, MAC o Solaris), también posee la ventaja de ser de uso gratuito. En este proyecto se usa MySQL como base de datos, debido a que es una plataforma de código abierto, con rendimiento, confiabilidad y facilidad de uso, por lo que se convierte en la principal opción de base de datos para aplicaciones basadas en la Web [18]. Se emplea PHPMyAdmin como administrador y gestor de datos; está diseñada para manejar la administración y gestión de bases de datos MySQL a través de una interfaz gráfica de usuarios escrito en PHP [6].

PhpMyAdmin es la herramienta más usada para la gestión de MySQL, esta viene con una documentación detallada y está siendo apoyado por un gran multi-idioma de la comunidad. Es cada vez mayor la lista de características, soporta todas las operaciones de uso común tales como la navegación, crear, modificar las bases de datos MySQL, las tablas, campos e índices. Además, permite administrar usuarios MySQL y privilegios de usuario. Otra característica común en phpMyAdmin es su función de importación, con esta se puede enviar a la base de datos MySQL de copia de seguridad. También se puede exportar la base de datos en formato CSV, SQL, XML, Excel y otros [6].

Para el almacenamiento de los datos se usan dos tablas, una para las variables meteorológicas, tales como la temperatura, humedad, irradiancia y temperatura del panel; otra solo para el almacenamiento de la caracterización del panel fotovoltaico; variables de tensión y corriente. Estas se muestran en las figuras 4.1 y 4.2.

4.1.2 Página WEB. Un objetivo de este trabajo, es el de visualizar los datos mediante una plataforma *Web*, para lo cual se diseñó una página desde cero, con lenguajes de programación tales como PHP, HTML, CSS y JavaScript, de los cuales se habla a continuación. Adicional a esto, para cargar la página *WEB* en la red de internet, se necesita de un hosting (alojamiento) en la nube y un dominio que es por el cual será llamada la página, estos detalles se explicarán en el literal 3.1.2.5.

4.1.2.1 PHP. Es un lenguaje de código abierto muy popular, creado para el desarrollo web, acrónimo de *Hypertext Preprocessor*. Básicamente PHP permite tener páginas dinámicas, cuando el cliente hace una petición al servidor para que le envíe una página *WEB*, el servidor ejecuta el intérprete de PHP. Éste procesa el *Script* solicitado que generará el contenido de manera dinámica (por ejemplo obteniendo información de una base de datos). El resultado es enviado por el intérprete al servidor, quien lo envía al cliente [22]. Este lenguaje puede ser incrustado en HTML y es el principal de este proyecto, por medio del mismo fueron programadas diferentes funciones como la lectura de la base de datos, las asignadas a los botones, el inicio de sesión para los administradores, entre otras.

4.1.2.2 HTML. (*Hyper Text Markup Language*) es el lenguaje con el que se escriben las páginas web. Es un lenguaje de hipertexto, esto quiere decir que utiliza una forma fragmentada o estructurada, compuesto por etiquetas, que marcan el inicio y el fin de cada elemento del documento. Un documento hipertexto no sólo tiene texto, puede contener imagen, sonido,

Figura 4.1: Tabla en MySQL de base de datos para almacenamiento de variables medidas en la caracterización de paneles fotovoltaicos

	Dato	Tension	Corriente	Potencia
☐ Editar ☐ Copiar ☐ Borrar	1	33.6657	0.0635	2.1390
☐ Editar ☐ Copiar ☐ Borrar	2	33.6657	0.0890	2.9947
☐ Editar ☐ Copiar ☐ Borrar	3	33.6657	0.0890	2.9947
☐ Editar ☐ Copiar ☐ Borrar	4	33.5484	0.0890	2.9843
☐ Editar ☐ Copiar ☐ Borrar	5	33.5484	0.0127	0.4263
☐ Editar ☐ Copiar ☐ Borrar	6	33.5484	0.1525	5.1159
☐ Editar ☐ Copiar ☐ Borrar	7	33.4897	0.1779	5.9581
☐ Editar ☐ Copiar ☐ Borrar	8	33.3138	0.1906	6.3501
☐ Editar ☐ Copiar ☐ Borrar	9	33.4311	0.2414	8.0718
☐ Editar ☐ Copiar ☐ Borrar	10	33.4897	0.2923	9.7883
☐ Editar ☐ Copiar ☐ Borrar	11	33.3724	0.3304	11.0263
☐ Editar ☐ Copiar ☐ Borrar	12	33.3138	0.3939	13.1236
☐ Editar ☐ Copiar ☐ Borrar	13	33.3138	0.4448	14.8170
☐ Editar ☐ Copiar ☐ Borrar	14	33.3138	0.5464	18.2037
☐ Editar ☐ Copiar ☐ Borrar	15	33.1965	0.5973	19.8270
☐ Editar ☐ Copiar ☐ Borrar	16	33.1378	0.6862	22.7397
☐ Editar ☐ Copiar ☐ Borrar	17	33.0205	0.8133	26.8554
☐ Editar ☐ Copiar ☐ Borrar	18	33.0205	0.9404	31.0516
☐ Editar ☐ Copiar ☐ Borrar	19	32.8446	1.0929	35.8947
☐ Editar ☐ Copiar ☐ Borrar	20	32.6100	1.2581	41.0254
☐ Editar ☐ Copiar ☐ Borrar	21	32.4340	1.5122	49.0473
☐ Editar ☐ Copiar ☐ Borrar	22	32.1994	1.7410	56.0578
☐ Editar ☐ Copiar ☐ Borrar	23	32.0235	2.0078	64.2973
☐ Editar ☐ Copiar ☐ Borrar	24	31.6716	2.3382	74.0551
☐ Editar ☐ Copiar ☐ Borrar	25	31.4956	2.7576	86.8515
☐ Editar ☐ Copiar ☐ Borrar	26	30.9091	3.2405	100.1600
☐ Editar ☐ Copiar ☐ Borrar	27	30.4399	3.7889	115.2728
☐ Editar ☐ Copiar ☐ Borrar	28	29.7361	4.4350	131.8793
☐ Editar ☐ Copiar ☐ Borrar	29	29.1496	5.2483	152.9853
☐ Editar ☐ Copiar ☐ Borrar	30	27.8006	6.1505	170.9888
☐ Editar ☐ Copiar ☐ Borrar	31	26.4516	7.2942	192.9442
☐ Editar ☐ Copiar ☐ Borrar	32	24.4575	8.1838	200.1545
☐ Editar ☐ Copiar ☐ Borrar	33	21.6422	8.8954	192.5164
☐ Editar ☐ Copiar ☐ Borrar	34	17.7126	9.0733	160.7121
☐ Editar ☐ Copiar ☐ Borrar	35	14.1935	9.0225	128.0610
☐ Editar ☐ Copiar ☐ Borrar	36	11.3196	8.9844	101.8998
☐ Editar ☐ Copiar ☐ Borrar	37	9.2082	8.9589	82.4959

Figura 4.2: Tabla en MySQL de base de datos para almacenamiento de variables meteorológicas

+ Opciones						
		Dato	Temperatura	Humedad	Irradiancia	Temp_panel
	Editar Copiar Borrar	1	25.65	68.20	40.00	24.07

vídeo, etc. Los documentos HTML deben tener la extensión html o htm, para que puedan ser visualizados en los navegadores (programas que permiten visualizar las páginas *WEB*). Los

navegadores se encargan de interpretar el código HTML de los documentos, y de mostrar a los usuarios las páginas *WEB* resultantes del código interpretado [7].

4.1.2.3 CSS. (Cascading Style Sheets) es un lenguaje de estilo, mientras que HTML se usa para definir la estructura del contenido, CSS se usa para darle un estilo y distribuirlo. Por ejemplo, se puede usar este lenguaje para modificar la fuente, el color, el tamaño y el espaciado de su contenido, dividirlo en varias columnas o agregar animaciones y otras características decorativas. [13]

4.1.2.4 JavaScript. Es un lenguaje de programación orientado a objetos, que permite realizar actividades complejas en una página *WEB*, como crear contenido dinámico, controlar archivos de multimedia, crear imágenes animadas, mostrar actualizaciones de contenido en el momento, hacer funcionar el código en respuesta a algunos eventos que están ocurriendo en la página, por ejemplo llevar a cabo determinada función cuando se da click a cierto botón, entre otras funciones [15]. JavaScript funciona del lado del usuario, es decir es interpretado principalmente por los navegadores, mientras que PHP es un lenguaje del lado del servidor y por lo tanto tiene muchos más permisos, como la conexión con diferentes bases de datos, entre otras, no obstante JavaScript nos permite tener páginas más dinámicas y estéticas.

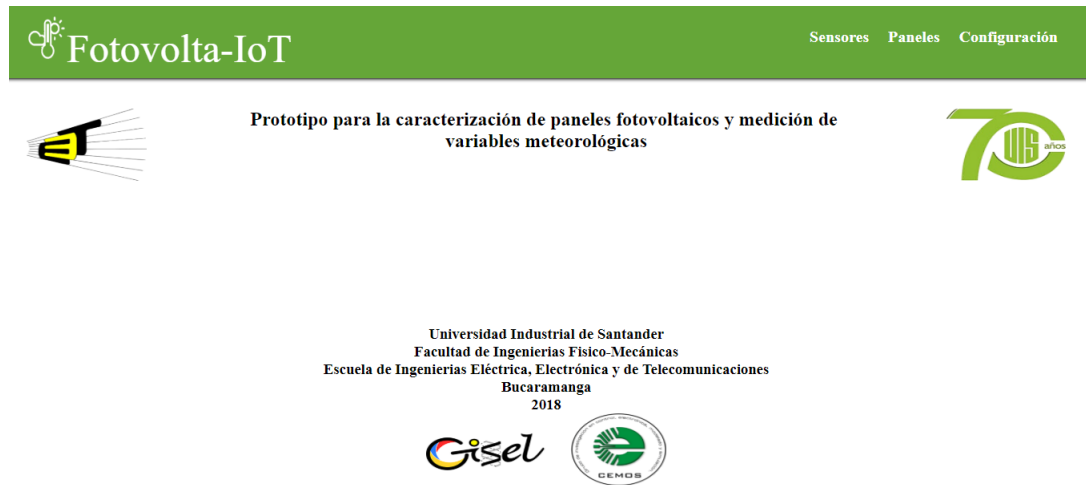
4.1.2.5 Alojamiento y dominio. Existen diferentes maneras a la hora de ir probando el código de la página, la más recomendada mientras se empieza es de forma local, pero esta no es una opción cuando queremos que los usuarios accedan a ella desde cualquier lugar, así que se debe pensar en usar un alojamiento o conocido en inglés como hosting, en la nube, que permita el acceso desde cualquier navegador *WEB*. Existen en el mercado muchas opciones de hosting, con diferentes prestaciones, soportes y precios; se debe buscar la más adecuada para lo que necesita el usuario, en el caso de este proyecto, fue usada una plataforma de alojamiento gratuito llamada *Byet Host*, de *Byet Internet Services*.

Byet Host proporciona un servicio muy completo, con herramientas como MySQL, que es con la cual se crea la base de datos, FTP, que nos permite subir los archivos de la página editados desde el ordenador hacia el servidor en la nube, y soporta versiones PHP 5.4, 5.5, 5.6, y 7.0. [4]

El dominio, es también muy importante a la hora de subir la página a la *WEB*, es el nombre que se le dará a la misma, se utiliza para acceder a las diferentes direcciones IP de cada nodo activo de la red, es decir, el dominio es la traducción de dichas direcciones IP, es más fácil de recordar, por ejemplo, es más sencillo recordar una página `http://dominio.com` que una `http://192.0.32.10`, además de ser más práctico, ya que hoy en día se usa la misma dirección

IP desde diferentes ordenadores. En este caso, el dominio se asignó mediante la plataforma de *Byet Host* fue <http://fotovoltaiot.byethost4.com>.

Figura 4.3: Ventana de bienvenida de la página *WEB*.



Como requisitos de diseño de la interfaz, se necesitaba que se pudiera visualizar en tiempo real los datos tomados por los sensores, las gráficas de las curvas de caracterización y que además de esto, fuera de fácil navegación entre sus ventanas.

La página desarrollada en este proyecto, consta de una ventana de bienvenida que se puede observar en la figura 4.3, en la cual el usuario se puede dirigir a tres ventanas diferentes, la ventana sensores, que es en la cual se muestra los datos de las variables meteorológicas medidas, incluyendo la fecha y la hora en la cual se está monitoreando esta información, esta se muestra en la figura 4.4, los datos que se observan en la imagen, corresponden a datos de prueba ingresados a la página en el momento de su construcción.

Luego de esto, se encuentra la ventana llamada paneles, en la cual se muestran las diferentes curvas de caracterización de los paneles fotovoltaicos, tanto I vs. V , como P vs V . La selección de cual gráfica se quiere observar se realiza mediante dos botones ubicados en la parte izquierda de la página. En la figura 4.5 se puede detallar cuando la opción Corriente vs. Tensión es seleccionada.

En la ventana configuración, se han añadido complementos para una mejor experiencia al momento de navegar por la página. Se incluyó un inicio de sesión, en el cual los usuarios autorizados accederán a permisos de administrador, tales como limpiar los datos almacenados

Figura 4.4: Ventana de visualización de datos de sensores.

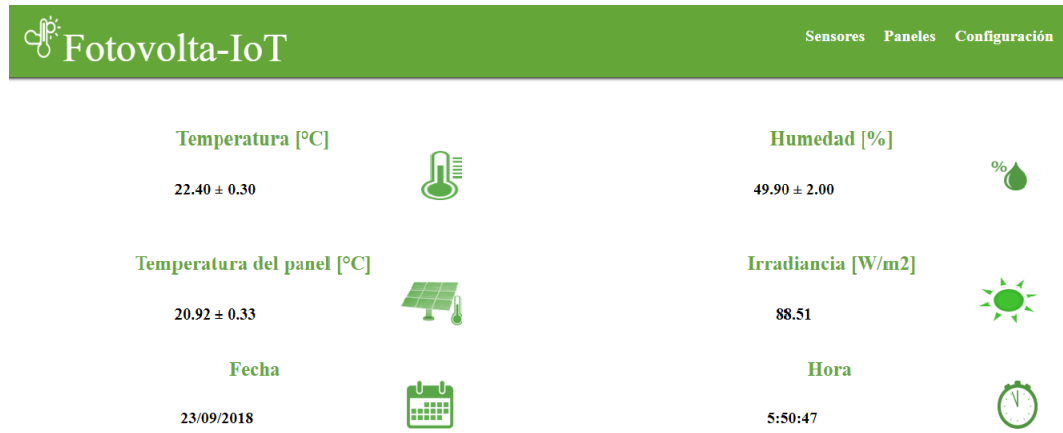
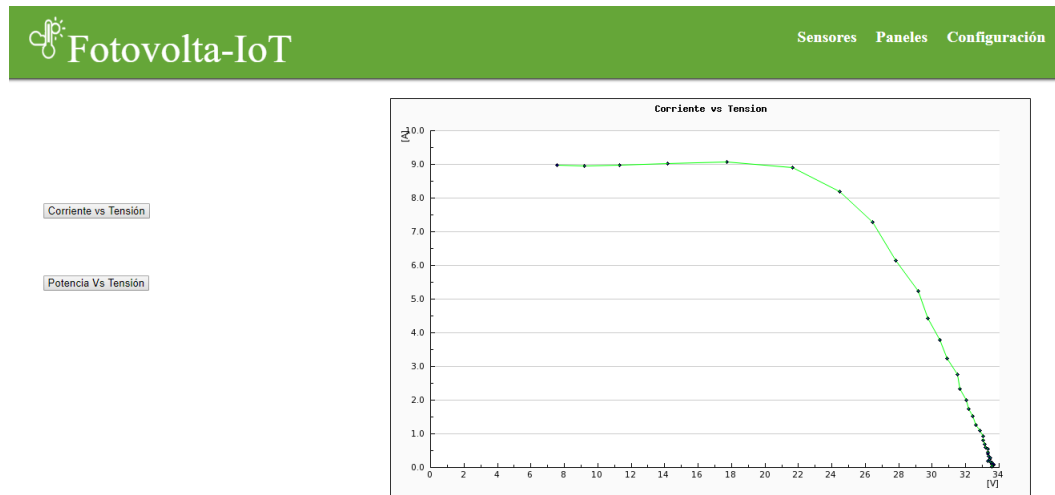


Figura 4.5: Ventana de visualización de las curvas características (I vs. V).



en la base de datos, crear una nueva tabla de datos y descargar las tablas de las variables almacenada en la base de datos. En la figura 4.6 se puede observar la ventana configuración una vez el usuario autorizado ha iniciado sesión, en la parte derecha se tienen las opciones que se pueden ejecutar.

4.1.3 Aplicación Móvil. Adicional a la página *WEB*, también fue propuesta la realización de una aplicación para dispositivos móviles, para el fácil acceso a los datos del caracterizador y de los sensores por parte del usuario. Existen diferentes formas de programar

Figura 4.6: Ventana de configuración, con las opciones de administrador.

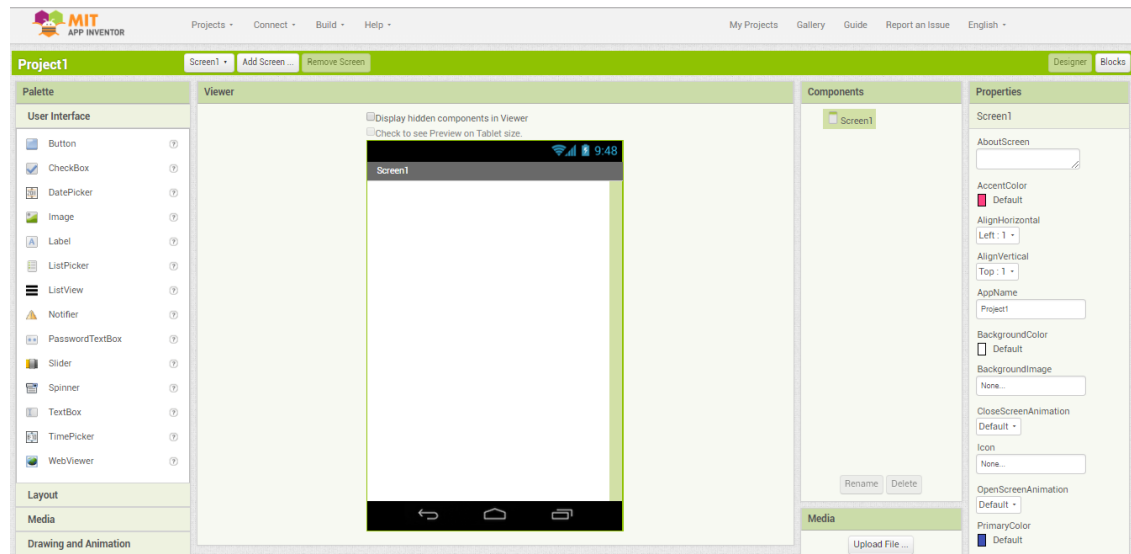


en Android, una de ellas es mediante la herramienta creada por el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), llamada *App Inventor*, de acceso gratuito, la cual fue usada para diseñar la de este trabajo.

MIT App inventor es un entorno de programación visual intuitivo, que permite de forma muy práctica el diseño de aplicaciones para teléfonos inteligentes y tabletas. Esta herramienta basada en bloques facilita la creación de programas complejos y de alto impacto en mucho menos tiempo que los entornos de programación tradicionales [12]. Este editor se puede visualizar en la figura 4.7.

Fotovolta-IoT es el nombre de la aplicación desarrollada en este proyecto. Su nombre proviene de dos palabras muy relevantes en este trabajo, fotovoltaico y las siglas IoT (*Internet of things*). La primera se debe a que el eje fundamental de este prototipo son los paneles fotovoltaicos, de ellos se busca obtener sus curvas características y las variables meteorológicas que pueden llegar a afectarlos, luego IoT ya que es una aplicación pensada en el concepto de internet de las cosas. Esta aplicación contiene una interfaz de 4 ventanas, una de bienvenida, un menú principal donde se elige cuál de las otras dos se quiere observar, si los datos de los sensores o las curvas características de los paneles. En la figura 4.8 ubicada en la siguiente página, se pueden detallar dichas ventanas.

Figura 4.7: Pantalla principal del editor *online* de MIT App inventor



4.2. ALGORITMO DE PROGRAMACIÓN DE LA ESP32

Para el funcionamiento en conjunto de todos los sensores y el respectivo procesamiento y transmisión de datos, se programa el microprocesador ESP32, de tal forma que realice esta secuencia mientras esté encendido el prototipo. El algoritmo completo tarda alrededor de 3 minutos mientras realiza todas las tomas de las diferentes variables y su respectivo envío a la base de datos y a la pantalla Nextion y está adecuado para iniciar inmediatamente se encienda el dispositivo.

El proceso realizado en este código se muestra en la figura 4.9 en la siguiente página. Cabe resaltar que el código cargado está configurado para red WiFi predeterminada, lo que obliga a que si se desea usar una diferente se deba modificar el nombre de la red y su respectiva contraseña, directamente desde el programa.

Figura 4.8: Ventanas de la aplicación *Fotovolta-IoT*.

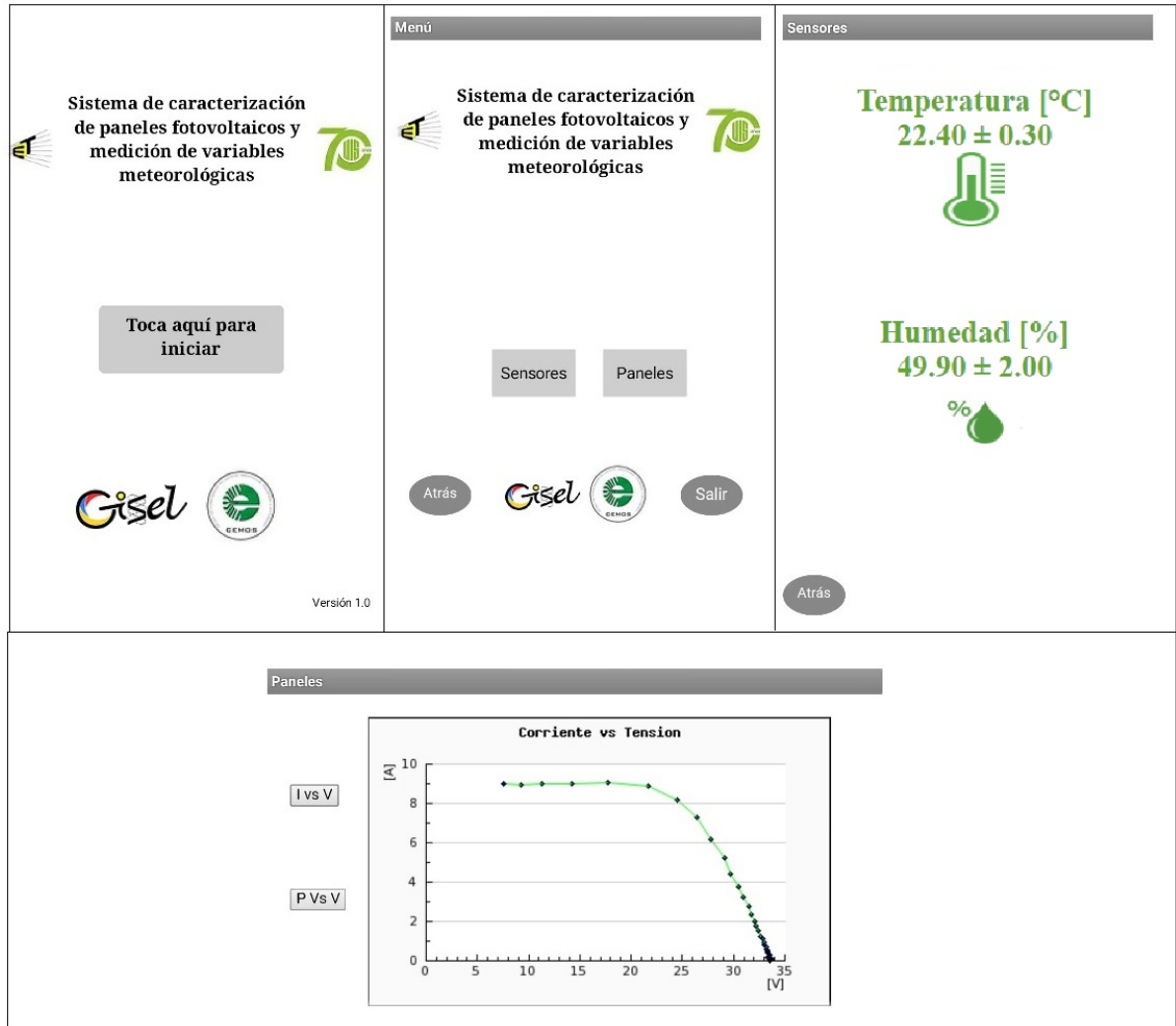
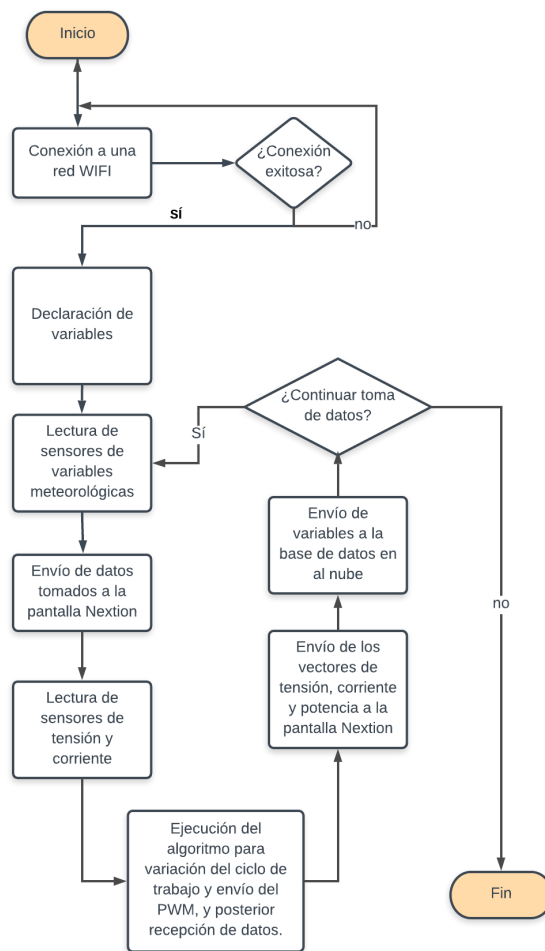


Figura 4.9: Diagrama de flujo del algoritmo de programación de la ESP32



5. RESULTADOS

En el siguiente capítulo se muestran los resultados finales de la realización de este proyecto, incluyendo algunas imágenes de la visualización tanto de la página *WEB*, la aplicación para dispositivos móviles y la pantalla táctil usada.

5.1. CARACTERIZACIÓN DEL ADC DE LA TARJETA ESP32

Se realiza la caracterización de los conversores analógicos digitales (en inglés *Analog to Digital Converter* - ADC) de la DOIT ESP32 DevKit v1, debido a que se presenta error en la toma de los datos de tensión como se muestra en la tabla 1, causando variaciones en las medidas reales de los sensores del caracterizador y las variables meteorológicas. Con FLUKE 179 True RMS Digital Multimeter se midió la tensión de referencia, el cual posee una resolución de 0.001V y una precisión de 0.1 %.

Luego de hacer la toma de datos se realizó el ajuste polinomial de grado 2, teniendo como resultado siguiente la curva 5.1. Del ajuste se obtiene la siguiente ecuación, la cual corrige los valores de tensión como se muestra en la tabla 2.

$$Y = -0,049X^2 + 1,108X + 0,138[V]$$

Luego de esta corrección, se observa una notable disminución del error en la toma de datos medidos por el microprocesador, y esto nos permite tener más seguridad a la hora de procesar dichos valores, ya que la mayoría de los sensores son analógicos.

Tabla 1: Valores tomados para la caracterización del ADC de la ESP32

Tensión Medida	Tensión de Referencia	Error absoluto [%]
3.300	3.276	0.73
3.110	3.051	1.93
2.590	2.711	4.46
2.270	2.445	7.16
1.930	2.106	8.36
1.610	1.790	10.06
1.360	1.532	11.23
0.990	1.168	15.24
0.700	0.870	19.54
0.570	0.741	23.08
0.310	0.476	34.87
0.170	0.338	49.70
0.070	0.232	69.83
0.000	0.143	100.00

Figura 5.1: Gráfica ajuste polinomial de la caracterización del ADC

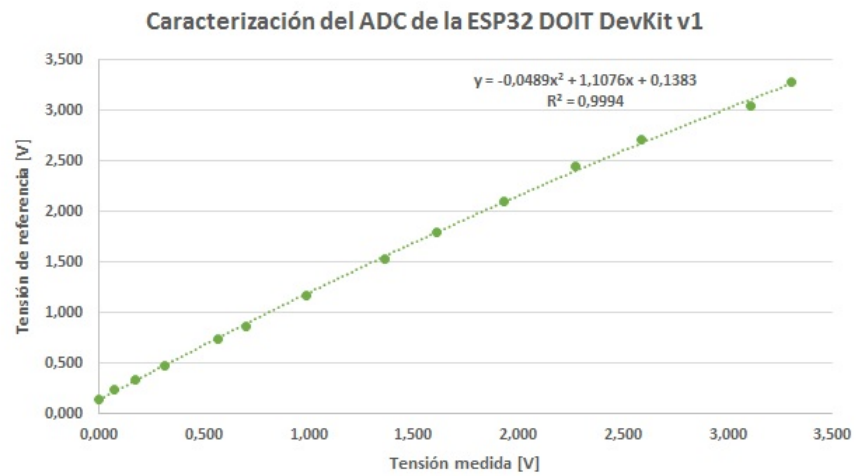


Tabla 2: Valores con el ajuste realizado al ADC de la ESP32

Tensión Medida	Tensión de Referencia	Error absoluto [%]
3.276	3.260	0.49
3.058	3.115	1.86
2.717	2.674	1.58
2.396	2.353	1.79
2.158	2.136	1.02
1.865	1.872	0.38
1.551	1.573	1.42
1.177	1.204	2.29
0.891	0.905	1.57
0.570	0.575	0.88
0.443	0.441	0.45
0.334	0.323	3.29
0.208	0.191	8.17
0.147	0.138	6.12

5.2. CARACTERIZADOR DE PANELES FOTOVOLTAICOS Y MEDICIÓN DE VARIABLES METEOROLÓGICAS

Como resultado final, se obtiene un prototipo de caracterización de paneles fotovoltaicos, el cual realiza la toma de datos de variables meteorológicas como temperatura, humedad, irradiancia y temperatura del panel; además de la adquisición de los valores de tensión y corriente para graficar las curvas tensión vs corriente y tensión vs potencia, teniendo como procesador de datos la tarjeta de desarrollo DOIT ESP32 DevKit v1, que se encarga de tomar la información y enviarla tanto a la pantalla táctil, como a la base de datos para su posterior uso en la página *WEB* y en la aplicación para dispositivos móviles. En la figura 5.2 se puede observar el resultado final.

Figura 5.2: Prototipo de caracterización de paneles fotovoltaicos y de medición de variables meteorológicas.



En el dispositivo se encuentran los circuitos de adecuación de señal de los sensores, la tarjeta de desarrollo, la fuente de alimentación, la pantalla táctil y la PCB diseñada para la conexión entre los elementos y la tarjeta DOIT ESP32 DevKit v1, en la cual se incluyen los divisores de tensión para las señales analógicas de los sensores de temperatura del panel e irradiancia. Esta se realiza con el software de diseño de PCB Eagle. En el anexo A se muestra

el esquemático y su correspondiente *board*, además de la placa obtenida.

Figura 5.3: Datos de tensión y corriente obtenidos en pruebas de caracterización del panel.

Tension [V]	Corriente [A]
33.32	0.72
33.28	0.72
33.30	0.72
33.31	0.72
33.28	0.72
33.29	0.72
33.21	0.72
33.21	0.72
33.17	0.72
33.11	0.72
33.05	0.72
33.01	0.72
32.93	0.72
32.89	0.72
32.82	0.72
32.71	0.72
32.56	0.72
32.46	0.83
32.28	0.97
32.14	1.13
31.93	1.32
31.67	1.54
31.34	1.79
31.02	2.10
30.57	2.42
30.13	2.82
29.60	3.31
28.80	3.84
27.93	4.41
26.66	5.06
24.81	5.68
21.59	6.00
18.00	6.05
14.96	6.08
12.06	6.10
9.61	6.10
7.60	6.10

Se realizaron diferentes pruebas con un panel fotovoltaico policristalino de 270W, 60 celdas, marca Trina solar de referencia TSM-PD05. En la figura 5.3 se muestra la toma de datos realizada con una temperatura de 26.3 °C, irradiancia de 625 W/m² y humedad relativa de 56 %.

En la pantalla táctil se muestra las variables meteorológicas, esto se puede observar en la figura 5.4. Las gráficas de tensión vs corriente y tensión vs potencia se muestran en la página *WEB* en la figura 5.5 y también en la aplicación para dispositivos móviles en la figura 5.6.

Figura 5.4: Datos de variables meteorológicas en la pantalla táctil.



Figura 5.5: Gráfica de tensión vs potencia y tensión vs corriente en página *WEB*.

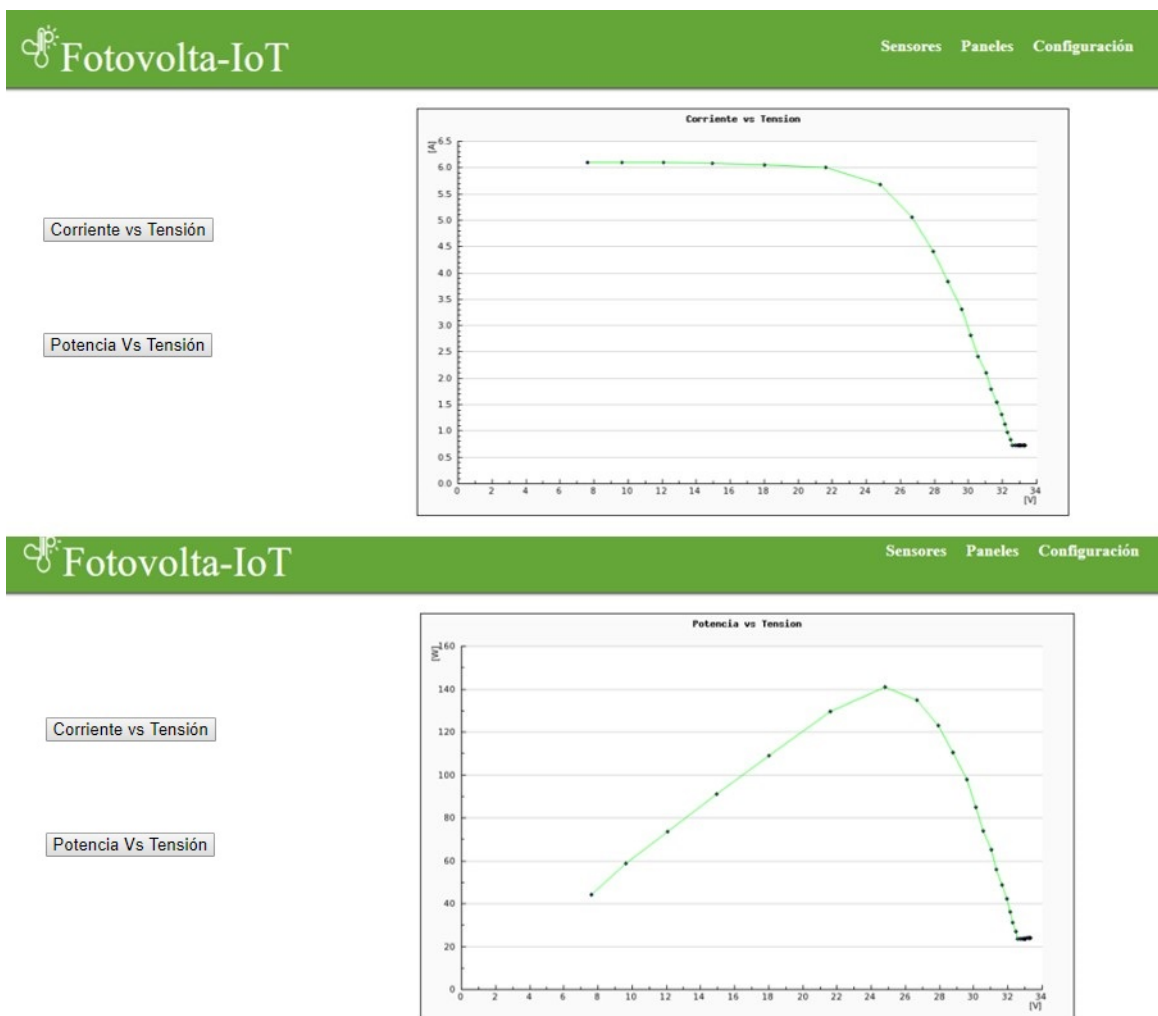
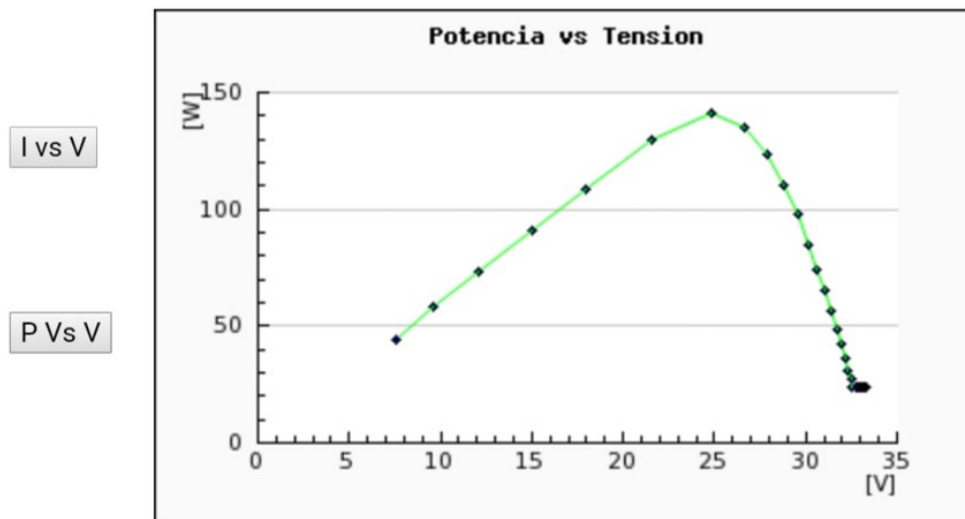
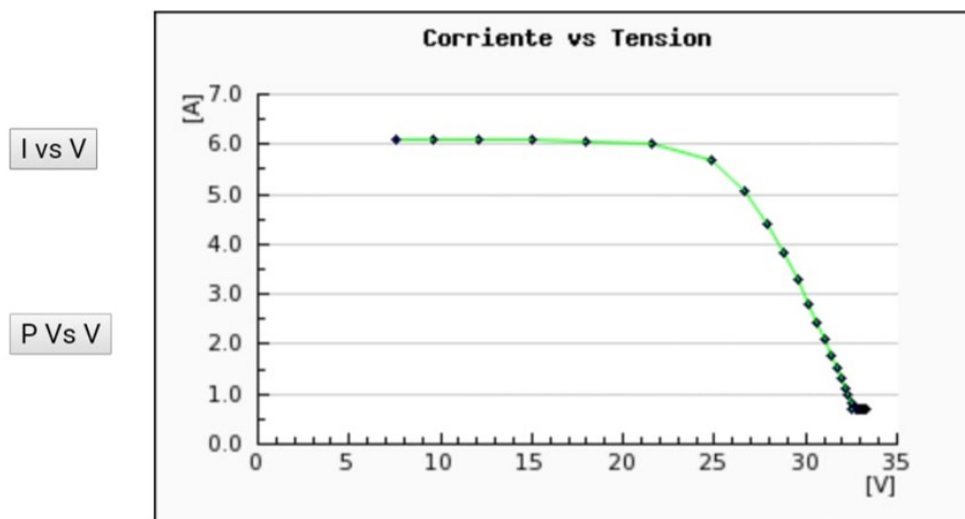


Figura 5.6: Gráfica de tensión vs corriente y tensión vs potencia en aplicación móvil.

Paneles



Paneles



6. CONCLUSIONES

Al culminar este proyecto, se presenta el prototipo para la caracterización de paneles fotovoltaicos, el cual sensa las variables meteorológicas tales como temperatura, humedad, irradiancia y también la temperatura del panel, además de la visualización de los datos en tiempo real, mediante una página *WEB*, una aplicación para dispositivos móviles y una pantalla táctil ubicada en el prototipo.

Se realiza el monitoreo y adquisición de las variables medidas por el prototipo en tiempo real, con la ayuda de la DOIT ESP32 DevKit v1. Además, se realiza la transmisión por medio de WIFI a la base de datos diseñada para su respectivo almacenamiento y visualización en la página *Web* y aplicativo móvil.

Se desarrolla un aplicativo para móviles en el cual se visualiza en tiempo real los valores de los sensores de temperatura del panel, temperatura ambiente, humedad e irradiancia; además de las curvas características del panel fotovoltaico. De igual forma se diseña una plataforma *online*, en la cual se visualizan las variables tomadas, y en la cual se puede acceder a la información de las variables almacenados en la base de datos.

Se realiza el montaje de un sistema de desarrollo con WiFi en el prototipo de caracterización de paneles fotovoltaicos y medición de variables meteorológicas, que realiza la adquisición y transmisión de datos. Adicionalmente se hace la comunicación con la pantalla táctil.

Al realizar varias pruebas se evidencia que el ADC de la ESP32 posee errores en la lectura de datos, con respecto al valor real medido de la tabla 1 por lo cual se realiza una caracterización, haciendo un ajuste que disminuye los errores en la toma de datos como se ve en la tabla 2.

Se obtiene un avance importante en el prototipo anterior, ya que al incorporar esta función de transmisión de datos en tiempo real, permite su visualización a través de internet desde cualquier lugar, aprovechando el concepto de IoT y apuntando hacia tecnologías en las que todo está conectado a la red.

7. *RECOMENDACIONES*

Durante la ejecución del proyecto se plantean las siguientes recomendaciones:

Al momento de requerir mejores prestaciones en la página *WEB*, tales como mayor espacio en la base de datos, un dominio propio, o incluso un mayor espacio para la transferencia de archivos, se debe buscar una opción de *hosting* pago, que ofrezca mejor soporte a las necesidades del usuario.

La aplicación para dispositivos móviles que fue realizada, cumple con el funcionamiento requerido, permite visualizar tanto los datos de los sensores como las curvas características, se pueden plantear futuras funcionalidades, como por ejemplo añadiendo diferentes opciones tales como descargar la imagen de las gráficas de la curva, o programar de tal forma que envíe notificaciones al usuario para que revise los datos cada cierto tiempo, entre otros cambios que enriquecerían esta aplicación para futuros trabajos de acuerdo a las necesidades que desee el usuario.

De igual manera, la página *Web* diseñada presenta de manera clara los datos enviados desde el prototipo, no obstante, se pueden añadir más funciones, como por ejemplo conectarse con diferentes estaciones meteorológicas de la ciudad para así poder ser usada también para revisar el clima, con esto generando nuevos proyectos de grado, supliendo necesidades de la comunidad universitaria y de la región.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] AOSONG. Cm2305 temperature and humidity sensor probe. Recuperado de <http://www.aosong.com/en/products-29.html>, 2018.
- [2] AOSONG. *Temperature and humidity module AM2305 Product Manual*, 2003 ed. Aosong(Guangzhou) Electronics Co.,Ltd., jun 2018.
- [3] ATZORI, L., IERA, A., AND MORABITO, G. The internet of things: A survey. *Computer Networks* 54, 15 (2010), 2787 – 2805.
- [4] BYET INTERNET SERVICES. Free hosting. <https://byet.host/free-hosting>, 2018.
- [5] CHACÓN AVENDAÑO, J., AND ORTIZ JURADO, R. Implementación de un prototipo para la caracterización de paneles fotovoltaicos. *Tesis de pregrado Escuela de ingenierías eléctrica, electrónica y de telecomunicaciones. Universidad Industrial de Santander* (2016).
- [6] DOMANTAS, G. How to export mysql database using phpmyadmin. Recuperado de <https://www.hostinger.com/tutorials/mysql/how-to-export-mysql-database-using-phpmyadmin>, 2019.
- [7] ECURED. Lenguaje de marcado de hipertexto. Recuperado de <https://www.ecured.cu/Html>, 2012.
- [8] GUSTAVO, L. Xampp. Recuperado de <http://xampplaonda.blogspot.com/2017/02/xampp-ques-es-xampp-normal-0-21-false.html>, 2017.
- [9] INC, K. I. I-v characterization of photovoltaic cells using the model 2450 sourcemeter® source measure unit (smu) instrum.
- [10] LEM. *Current Transducer LA 25-P Datasheet*, version 14 ed., nov 2014.
- [11] LEM. *Voltage Transducer LV 25-P Datasheet*, version 19 ed., aug 2014.
- [12] MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY. About us. <http://appinventor.mit.edu/explore/about-us.html>, 2017.

- [13] MCFARLAND, D. S. *CSS: The Missing Manual*, 4 ed. O'Reilly, 2015.
- [14] MOHN, E. Internet of things. *Salem Press Encyclopedia of Science* (2016).
- [15] MOZILLA Y COLABORADORES INDIVIDUALES. What is javascript? Recuperado de: <https://developer.mozilla.org/es/docs/Web/JavaScript>, 2018.
- [16] MYU. Xampp. Recuperado de <http://myu-charly.blogspot.com/>, 2012.
- [17] NOGUERA, J. A. *Sistema de diálogo basado en mensajería instantánea para el control de dispositivos en el Internet de las cosas*. PhD thesis, Departamento de Informática y Sistemas. Universidad de Murcia, Enero 2016.
- [18] ORACLE. La base de datos de código abierto más popular del mundo. Recuperado de <https://oracle.com/co/mysql/index.html>, 2017.
- [19] SANDOVAL HERNÁNDEZ, N., AND ANGARITA ARENAS, S. Prototipo para la caracterización de paneles fotovoltaicos incorporando funciones de visualización de datos y sensado de variables meteorológicas. *Tesis de pregrado Escuela de ingenierías eléctrica, electrónica y de telecomunicaciones. Universidad Industrial de Santander* (2017).
- [20] SINGH, K. J., AND KAPOOR, D. S. Create your own internet of things: A survey of iot platforms. *IEEE Consumer Electronics Magazine* 6, 2 (April 2017), 57–68.
- [21] SYSTEMS, E. Esp32 series. Recuperado de <https://co.mouser.com/datasheet/2/891/esp32-datasheet-en-1223853.pdf>, 2018.
- [22] THE PHP GROUP. Introducción. Recuperado de <http://php.net/manual/es/introduction.php>.